



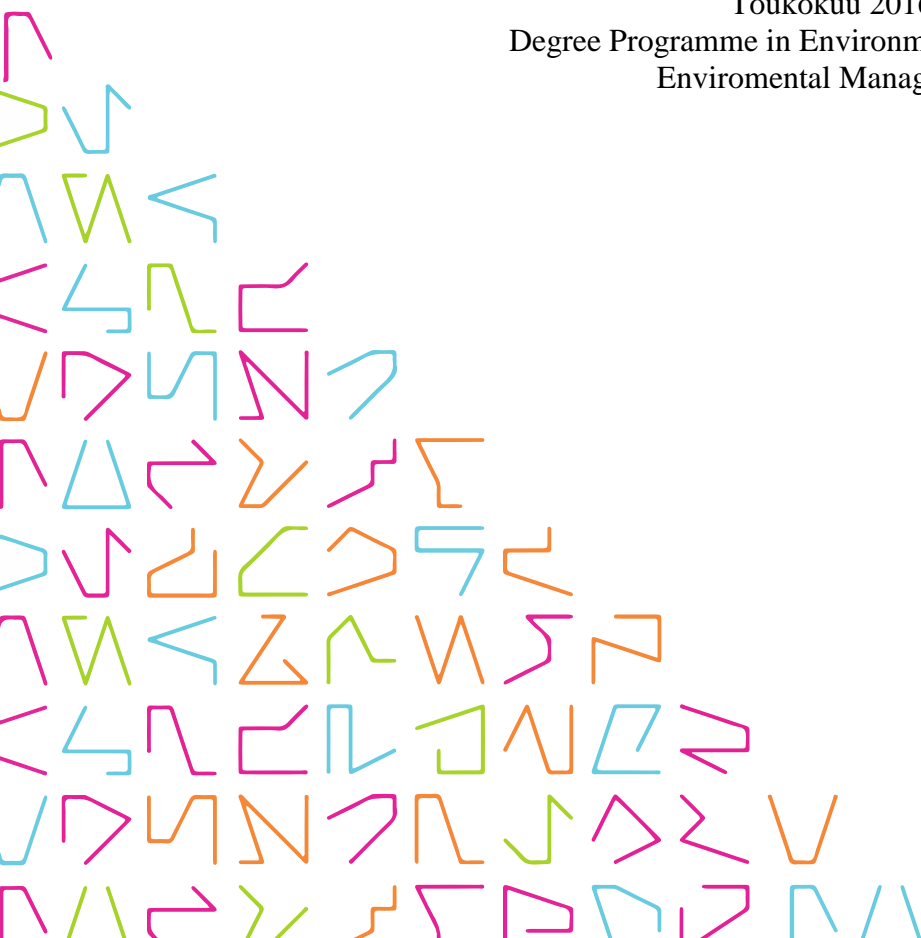
TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

VUOREKSEN AURINKORINTEEN PIENTALO- LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN VERTAILU

Markus Merta

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016

Degree Programme in Environmental Engineering
Environmental Management



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Degree Programme in Environmental Engineering

MARKUS MERTA:

Vuoreksen Aurinkorinteen pientalolämmitysjärjestelmien vertailu

Opinnäytetyö 90 sivua, joista liitteitä 27 sivua
Toukokuu 2016

Tämän opinnäytetyön taustana ovat Ekokumppanit Oy:n RETU - Resurssitehokasta uusiutuvaa energiaa- ja ECO₂ - Ekotehokas Tampere 2020 -hankkeet. Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla uusiutuviin energiamuotoihin perustuvia lämmitysratkaisuja uudispientalokohteissa. Kohteiksi valittiin Vuorekseen kaavoitetun Aurinkorinteen asuinalueen erillispientalokorttelit 7727 ja 7728. Kortteleihin oli kaavoitettu yhteensä 15 erillispientalon tontit.

Vertailussa oli mukana yhteensä yhdeksän lämmitysjärjestelmää: yhden, viiden ja viiden-toista talouden maalämpö-, hake- ja pellettijärjestelmät. Järjestelmiä vertailtiin kustannusten, päästöjen sekä käytön kannalta. Vertailun tarkoituksena oli selvittää, mikä järjestelmä olisi optimaalinen toteutettavaksi Aurinkorinteen kohteissa.

Työssä tehdyissä laskelmissa hyödynnettiin taustatietona Tampereen kaupungin kaavoitus- ja rakennusohjedokumentteja sekä muille vastaavanlaisille kohdealueille tehtyjä selvityksiä. Taustatiedoista koottujen arvojen pohjalta opinnäytetyössä laskettiin arviot vuotuisille lämmitysratkaisujen kokonaiskustannuksille, arviot vuotuisille lämmitysratkaisujen kokonaiskustannuksille taloutta kohden sekä arviot järjestelmien kokonaishiilidioksidipäästöille.

Vertailun perusteella 15 talouden yhteinen hakelämmitysjärjestelmä oli kokonaiskustannuksiltaan edullisin yhtä taloutta kohden 20 vuoden laskenta-aikana. Samainen hakejärjestelmä oli myös hiilidioksidipäästöjen vertailussa vähähiilisimpiä. Lämmitysjärjestelmien käytön vertailussa maalämpöjärjestelmät olivat vähiten vaativia käyttäjänäkökulmasta hakelämmityksen ollessa vaivalloisin. Järjestelmäkokonaisuuksien vertailussa 15 talon järjestelmät olivat lämmitysvaihtoehtoina edullisemmat sekä vähäpäästöisemmät kuin talokohtaiset tai viiden talon yhteiset järjestelmät - energiamuodosta riippumatta.

Jatkotutkimusehdotuksena työssä pohdittiin lämpöyrittäjä -pohjaista palvelua usean talouden lämmitysratkaisuille. Ehdotuksessa lämpöyrittäjän vastuulla olisi suunnitella ja toteuttaa lämmitysratkaisu, ylläpitää ja huoltaa laitteistoa sekä hankia polttoaine vaadittaessa.

Asiasanat: Pientaloenergiaratkaisut, uusiutuva energia, resurssitehokkuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Engineering

Markus Merta:

Comparison of Renewable Energy Based Heating Solutions for a Small House Area in Aurinkorinne, Vuores

Bachelor's Thesis 90 pages, appendices 27 pages
May 2016

The background of the thesis was based on the RETU - Resource Efficient Renewable Energy -project by EcoFellows Oy and ECO2 - Eco-efficient Tampere 2020 -project by the city of Tampere. The objective of the study was to conduct a comparison of renewable energy based heating solutions for a small-house area called Aurinkorinne in Vuores, Tampere. Blocks 7727 and 7728, containing altogether 15 sites meant for small-houses, were chosen from the already zoned area. This particular area was chosen to be used as an example in the thesis because of the RETU and ECO2 project plans on using the area for pilot projects dealing with matters such as resource efficiency, sustainable solutions and ecofriendly building.

The purpose of the work was to determine the best option for the heating solution for the blocks 7727-7728. This was carried out by comparing three differently sized geothermal, wood pellet and wood chip based heating systems: a one-household, a five- household and a fifteen-household system. Thus, there were altogether 9 systems in the comparison. The comparison was done by comparing the costs, the usability and the carbon dioxide emissions.

The methodology of the work consisted mainly of literature research and calculations. The majority of the research materials regarded public participation-based documents as well as the zoning and the city plans of the Aurinkorinne area. Other reports similar to this thesis were also utilized as background material. The cost and emission estimations were calculated based on the statistics and on the values of the background materials. The calculations were conducted using data from two energy calculators.

According to the results, the total annual costs per house were the lowest in a system, where 15 houses had a joint heating system using wood chips. This system was also one of the systems with the lowest rate of emissions. The use of wood chip based systems, however, was found out to be more demanding than the pellet or the geothermal based systems in terms of usability. From the user's point of view, the geothermal systems appeared to be the easiest.

In the future, a new kind of service-based approach for joint heating solutions should be implemented. An energy entrepreneur could be paid to design, establish and maintain the system.

Key words: small-house solution, renewable energy, joint heating solution

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	14
2	TAUSTA	16
3	KOHDEALUE JA RAKENTAMINEN.....	18
3.1	Aurinkorinne	18
3.2	Erillispientalokorttelit 7727–7728	21
3.3	Rakennusmääräykset	24
4	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	28
4.1	Maalämpö	28
4.2	Bioenergia.....	32
4.2.1	Pelletti	33
4.2.2	Hake	35
5	JÄRJESTELMÄKUSTANNUSTEN, KÄYTÖN JA PÄÄSTÖJEN VERTAILU	38
5.1	Maalämpö	38
5.2	Pelletti biopolttoaineena	39
5.3	Hake biopolttoaineena	40
5.4	Kustannusten vertailu	41
5.5	Päästöjen vertailu	47
6	AURINKOENERGIA LISÄLÄMMÖNLÄHTEENÄ.....	50
6.1	Aurinkoenergia	50
6.2	Aurinkolämpö	50
6.3	Aurinkolämmön kannattavuus	53
	JOHTOPÄÄTÖKSET	54
	Lähdeluettelo.....	57
	LIITTEET	63
	Liite 1. Järjestelmien kustannukset ilman korkoja	63
	Liite 2. Järjestelmien kustannukset energiahintojen sekä investointien koron kanssa.....	71
	Liite 3. Järjestelmien investointien korkojen sekä annuiteettien laskelmat	79
	Liite 4. Bioenergiapörssin laskurin antamat taulukot kustannuksista.	87
	Liite 5. Järjestelmien hiilidioksidipäästöt.....	90

LYHENTEET JA TERMIT

Biomassa	Biologista alkuperää oleva aines, kuten kasvi-, hedelmä- tai puubioaines.
Bruttopinta-ala	Rakennuksen bruttopinta-ala, jossa otetaan huomioon rakennuksen kokonaisvaltainen rakennettu pinta-ala. Bruttopinta-alan yksikkö on brm^2 .
COP	Coefficient Of Performance -kerroin ilmoittaa kuinka tehokkaasti sähköenergia muuttuu lämpöenergiaksi. Esimerkiksi COP-kertoimen ollessa 3, 1 kW sähköä tuottaa 3 kW lämpöenergiaa.
ET-luku	Rakennuksen energiatehokkuus luku, joka ilmoittaa oletetun laitesähkökulutuksen, yksikkönä käytetään $\text{kWh}/\text{brm}^2/\text{vuosi}$.
Hybridijärjestelmä	Järjestelmä, joka hyödyntää useampaa energianlähdettä.
Irtokuutiometri	Irtokuutiometri on tilavuuden mitta, jossa aines, esimerkiksi puuaines, ei ole tiiviisti pakattua, pikemminkin löyhästi. Irtokuutionmetrin yksikkö on i-m^3 .
Päästökerroin	Päästökerroin kertoo monta grammaa kasvihuonekaasuja hiilidioksidiksi muunnettuna vapautuu jokaista kilowattia kohden. Päästökertoimen yksikkö on $\text{kg CO}_2/\text{kWh}$.

EXTENDED ABSTRACT

BACKGROUND

The objective of this work is to conduct a comparison of renewable energy based heating solutions for a small-house area called Aurinkorinne in Vuores, Tampere. Blocks 7727 and 7728, containing altogether 15 sites meant for small-houses, are chosen from the already zoned area. The work is carried out by comparing geothermal, wood pellet and wood chip based heating systems in three different sizes: one small-house, five house and fifteen house sized system. There are altogether 9 systems in the comparison. The comparison is done by comparing costs, use and carbon dioxide emissions of the systems.

The background of the thesis is based on the RETU - Resource Efficient Renewable Energy -project by EcoFellows Oy and ECO2 - Eco-efficient Tampere 2020 -project by the city of Tampere. The sites from Aurinkorinne are chosen to be used as an example because the RETU and ECO2 projects plan on using the area for pilot projects dealing with matters such as resource efficiency, sustainable solutions and ecofriendly building.

National building regulations require more energy efficient and sustainable solutions in new buildings. According to the regulations of 2012, a low energy house's heating energy consumption has to be lower than 50 % of an average house's consumption in 2010. In 2020, the National building regulations define that at least 50 % of a house's heating consumption should be produced on site or near the property. The new houses built in Aurinkorinne are likely to be at least low energy houses or passive energy houses with a minimum demand for heating energy. This will affect the decision of heating solution not only in a household, but it also can create potential for joint heating solutions.

HEATING SYSTEMS

There are different renewable energy forms available for small-house solutions. The few examples to be used in this work are geothermal, wood chip and wood pellet energy solutions. These specific energy forms are selected because of easily accessible information and data as well as the fact that these three energy forms are already in use in small-house heating solutions.

Geothermal heat energy is gathered by drilling deep wells (tens to hundreds of meters) in the ground, collecting the heat inside the ground only some meters deeper than the surface or by collecting heat from waterbodies such as lakes. The COP factor, Coefficient of Performance of geothermal systems is some 3-3,5. Drilling heat collecting wells is the most common method in Finland covering over half of the new buildings' heating system choices between years 2006–2014. The reason is the small space requirement of the method, since the holes are drilled almost vertically to the ground and, thus, the system can even be installed to smaller properties.

Small-house heating solutions running on domestic biofuels in Finland are wood based biofuels such as wood chips and pellets. In Finland it is rather rare to heat up a house using pellets or wood chips, but the trend is increasing. Pellets are made out of sawdust or other byproducts of wood industry. The fine dust-like raw material is put in the pellet form using hydraulic high pressure. Wood chips are usually leftovers from forest thinning or chipped timber. Stems, branches and such can be used as biofuel in the combustion systems.

Pellet is excellent biofuel, since it has great heat of combustion value of 14-17,5 MJ/kg. The average efficiency of the pellet system turning pellets into heat energy is about 0,82. Wood chips have more or less the same efficiency value than pellets.

COMPARISON OF COSTS, USAGE AND EMISSIONS

The calculations of the costs are conducted using data from Bioenergiapörssi.fi -website's heat energy calculator. The following information regarding the future houses in the example area is inserted in the calculator: The houses are low energy houses meeting the demands of the regulations of the year 2012, the area is 180m² per house, there are 4 inhabitants per house, room height is 2,5 meters, the houses are rectangular shaped, there are 2 floors and the location is Tampere.

The energy calculator utilizes data about up-to-date energy prices gathered by Statistics Finland. The annual energy costs are calculated with estimations of the annual increase of energy prices for wood chips and pellets 5,4 % and geothermal 4,6 %. As seen in figure 1, pellet systems have the highest energy price increase while wood chips have the lowest. Wood chip energy prices are also the lowest in a period of 20 years.

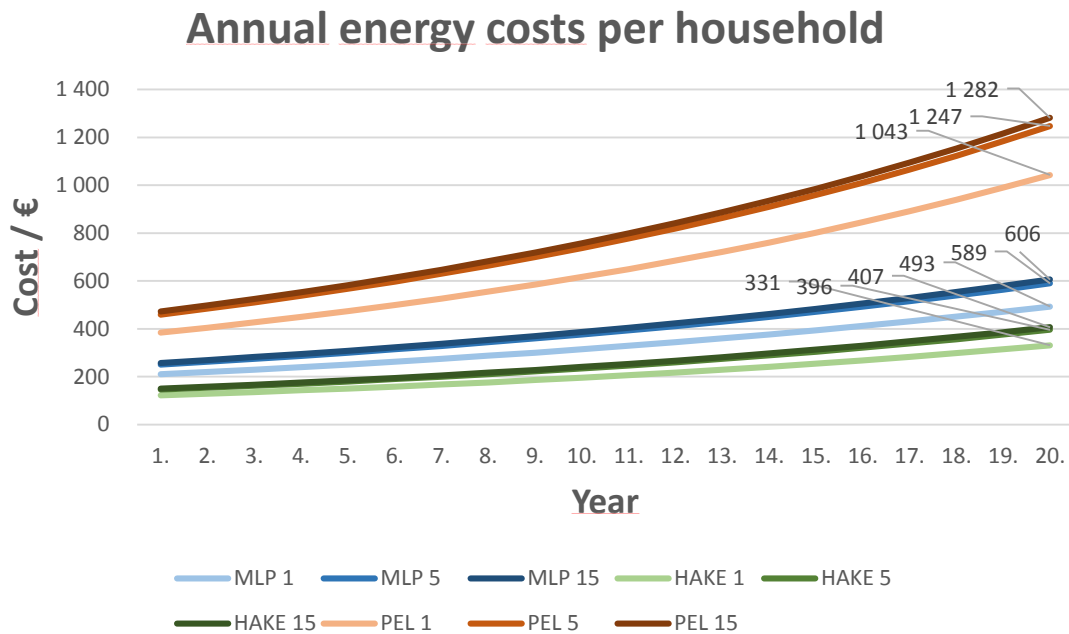


FIGURE 1. The annual energy costs per household from one, five and fifteen small-house sized geothermal (MLP), wood chip (HAKE) and wood pellet (PEL) systems during 20 years

The investment costs are calculated by using the energy calculator's estimation of the investments, together with an annuity loan based equation for the annual interest of 4,0 %, which is the same interest for every system. It can be seen in figure 2 that the joint

wood pellet heating system for 15 houses is the most expensive solution during a 20-year period, while the geothermal system for one house is the cheapest one.

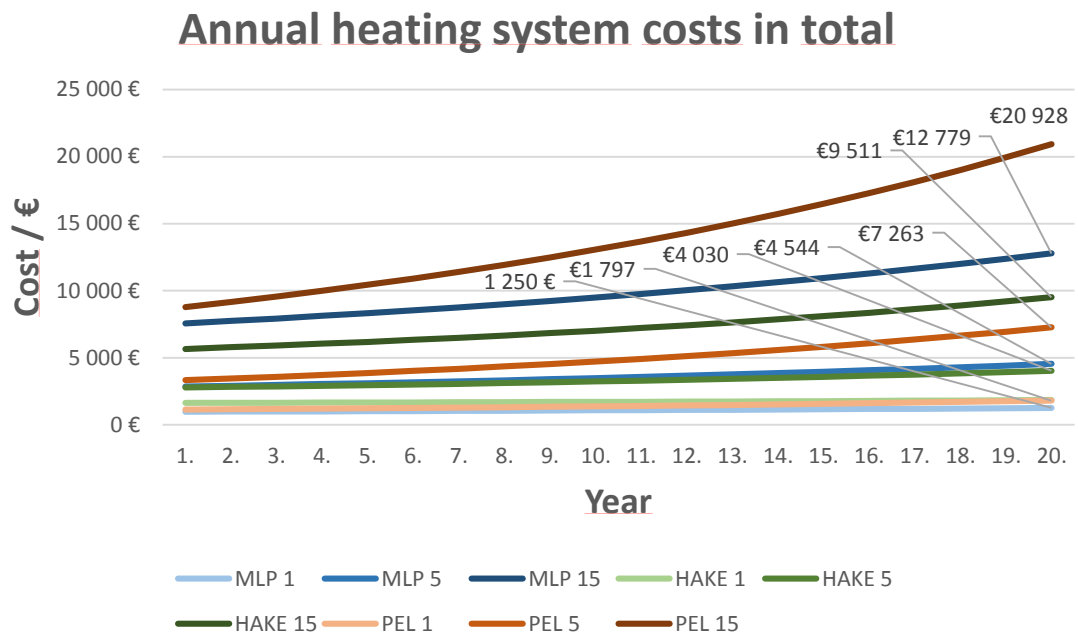


FIGURE 2. The annual heating system costs in total, from one, five and fifteen small-house sized geothermal (MLP), wood chip (HAKE) and wood pellet (PEL) systems during 20 years

According to figure 3, the chip heating system for one house has the highest expenses in the annual costs for a house during a period of 20 years. The 15-house wood chip joint heating system is the lowest annual costs for a house, as shown in figure 3.

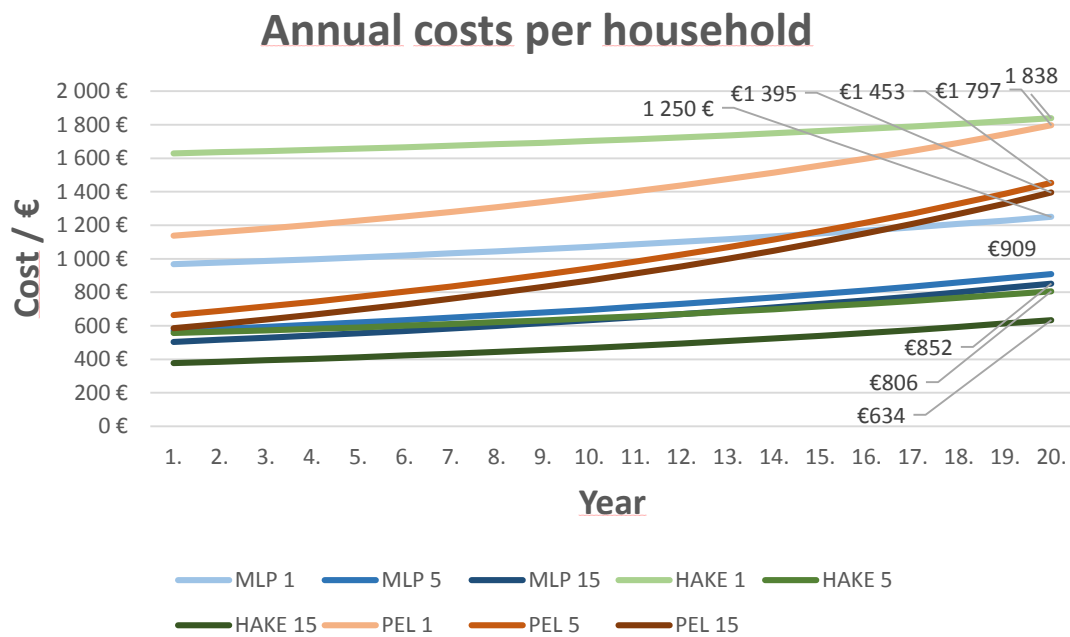


FIGURE 3. The annual costs for a house from one, five and fifteen small-house sized geothermal (MLP), wood chip (HAKE) and wood pellet (PEL) systems during 20 years

The carbon dioxide emissions from the heating systems are compared in figure 4. Figure 4 also compares the traditional electricity based heating systems with the other energy forms used in the thesis. In figure 4 single-house wood chip and wood pellet systems have the lowest emissions of 6,48 tons CO₂ in 20 years.

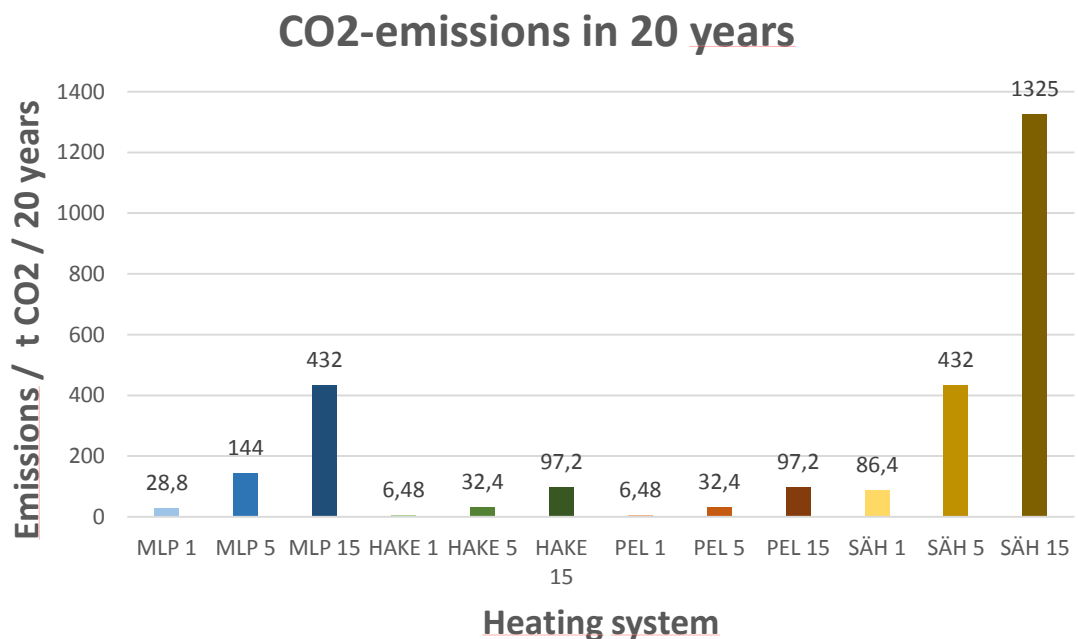


FIGURE 4. The CO₂-emissions in 20 years from one, five and fifteen small-house sized geothermal (MLP), wood chip (HAKE) and wood pellet (PEL) systems

From the user's point of view, geothermal heating systems are fully automated and, hence, require no supervision. Wood chips and pellets, however, are burned in a system that has a furnace, which does require frequent cleaning and care. The combustion process creates soot and ash in the burner and furnace, which lowers the efficiency of the system unless cleaned. This occurs three times as much with burning wood chips than pellets. More expensive systems have automated self-cleaning applications helping the user in this respect.

CONCLUSIONS

According to the calculations the 15 house joint wood chip based heating system was the cheapest solution for the blocks 7727 and 7728 of Aurinkorinne. The comparison also revealed that the same system was one of the most low emission systems. In the comparison of the usage, all geothermal systems were the easiest from the inhabitant's point of view. As a conclusion, on one hand, it could be said that if the expenses are considered the most important factor, the joint wood chip heating system for 15 houses is the most economical choice. On the other hand, if the user-friendliness of the system is the most important factor, geothermal solutions beat the joint 15 house wood chip and pellet heating system.

Solar heat solutions were also studied in the thesis. The conclusions claimed that solar heating is not financially beneficial enough, at least not in a small-house solutions. The beneficiary of the use of solar heating solutions grow along the size of the solar panel or collectors. As an addition to primary heating system solar heat could be used to improve the efficiency of the primary heating systems such as geothermal. It was roughly estimated that about 50 % of the used warm water could be produced using solar heating systems. This covers about 5-10 % of the total heating consumption of a household. The amount of the coverage in the total heating consumption of a household is not beneficial compared to the costs of the solar heating systems.

In table 1 below are the pros and cons of the sustainable energy solutions for small-houses. As table 1 points out, wood chip and pellet based solutions are more demanding to use than geothermal and are more suitable for bigger energy demand. This means that the joint heating solutions require in the future a new kind of service-based approach. One suggestion is an energy entrepreneur service, who could be paid to design, establish and maintain the joint heating system meant for several households. This not only take the responsibility from the households' inhabitants, but also create new jobs in the future. This new type of service, which is beneficial to inhabitants as well as to entrepreneur, also utilizes local sustainable energy forms, and thus, will create more resource efficient solution.

In the future, a new kind of service-based approach for joint heating solutions should be implemented. An energy entrepreneur could be paid to design, establish and maintain the system.

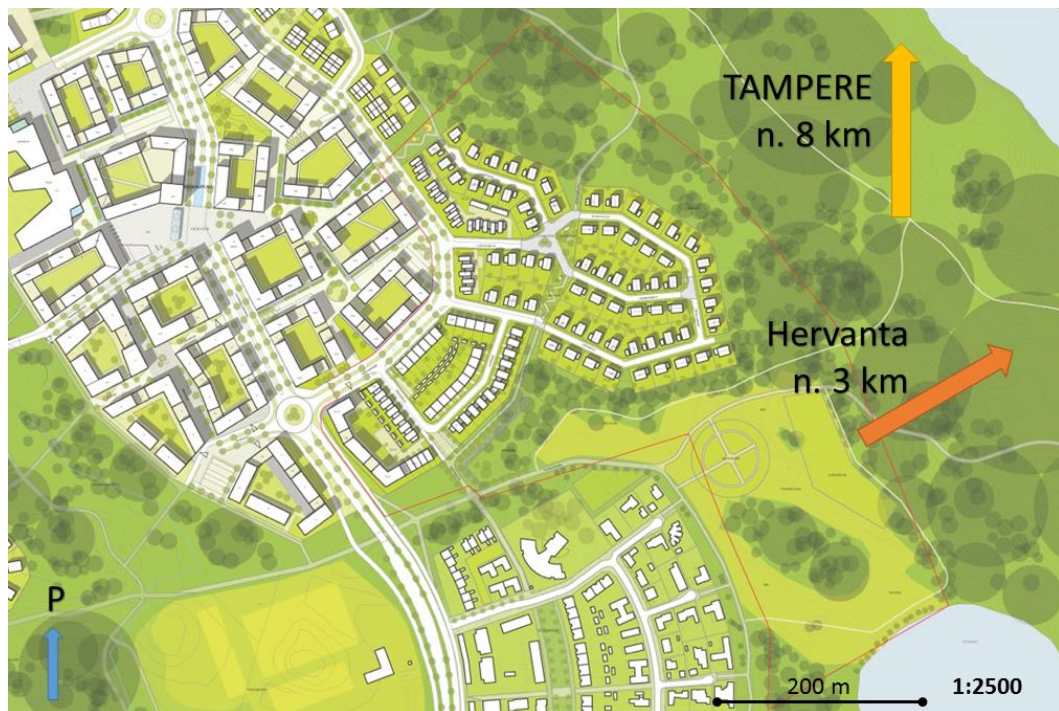
TABLE 1. The table of pros and cons of the different energy forms for small-houses

	PROs	CONs
GEO THERMAL	<ul style="list-style-type: none"> • Cheap energy costs • Fully automated system - Does not require user interference • Installing geothermal system one gets VATs back • The drilling wells can be also utilized in cooling of the house 	<ul style="list-style-type: none"> • Expensive initial investment • Uses electricity to produce some one third of the heat energy
WOOD CHIPS	<ul style="list-style-type: none"> • The cheapest energy solution in the comparison per house • Domestic product • Easy access - Byproduct of wood industry • Different types of wood based raw materials can be used in a combustion system • Low emissions 	<ul style="list-style-type: none"> • Expensive for one house • Requires maintenance often - removal of ash and soot from the furnace and burner • Produces three times more ash than pellets
PELLETS	<ul style="list-style-type: none"> • Low emissions • Domestic product • High energy content pressurized in small package - good heat of combustion value • requires only a small storage 	<ul style="list-style-type: none"> • Requires removal of pan scale • Produces some 10 kg of ash from 500 kg of pellets • Requires sweeping • Automation costs more • Requires storage for chips as well as a drying space • Expensive for one house

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan uusiutuviin energiamuotoihin perustuvia primäärilämmitysjärjestelmiä uudispientalorakennuskohteissa. Tarkoituksena on selvittää onko tulevaisuudessa kannattavaa harkita uudisrakennuskohteita suunniteltaessa talon lämmitysvaihtoehdoksi useamman talon tai kokonaisen korttelin kattavia lämmitysjärjestelmiä. Lähtötasona vertailussa on käytetty talokohtaista maalämpöjärjestelmää, koska vuosina 2006–2014 useampaan kuin joka toiseen uudiskohteeseen valittiin maalämpöjärjestelmä (Pientalorakentamisen kehittämiskeskus ry, 2015). Muita vertailussa huomioon otettuja lämmitysjärjestelmiä ovat biomassaa energiana hyödyntävät pelletti- ja hakelämmitysjärjestelmät sekä kaikista edellä mainituista järjestelmistä alueelliset useamman talouden versiot.

Vertailun esimerkkinä on käytetty kuvan 1 Isokuusen alueelle rakennettavaa Aurinkorinteen asuinalueita. Alue sijaitsee Etelä-Tampereella, Särkijärven eteläpuolella Vuoreksen kaupunginosassa (Tampereen kaupunki, 2015c). Alue on mäkistä metsämaastoa Vuoreksen puistokadun itäpuolella.



KUVA 1. Havainnekuva suunnitteluvaiheen Aurinkorinteen muodostelmasta tulevan Isokuusen keskustan itäpuolella, rajattu punaisella viivalla (Arkkitehtuuritoimisto B&M Oy 2015 muokattu)

Opinnäytetyössä tehtyjen lämmitysjärjestelmävertailujen kriteereinä ovat hinta, käyttö sekä päästöjen vertailu. Vertailun tuloksien pohjalta tehdään yhteenveto lämmitysjärjestelmien hyvistä ja huonoista puolista peilaten tuloksia Aurinkorinteen kortteleiden 7727–7728 määräyksiin sekä ohjeellisiin suosituksiin.

2 TAUSTA

Tampereen kaupungin tavoitteena on pienentää hiilijalanjälkeään vuoden 1990 tasosta yli 20 prosenttia asukasta kohden vuoteen 2020 mennessä. Vuoteen 2030 mennessä tavoite kasvaa 40 prosenttiin. Näitä tavoitteita silmällä pitäen Suomen itsenäisyyden juhlarahaston (Sitra) kanssa toteutetaan yhteistyössä ECO₂ – Ekotehokas Tampere 2020 -hanke. Hankkeen fokus on kaavoituksessa, rakentamisessa, liikenteen suunnittelussa ja kiinteistöjen energiaratkaisuissa. ECO₂ -hankkeen näkyvimpiä kohteita Tampereella ovat Vuoreksen kaupunginosaan rakennettavat Koukkurannan sekä Isokuusen alueet (Vanhanen, Pesola & Vehviläinen 2011, 1). Hankkeessa ohjataan alueiden maankäyttöä mahdollisimman ekotehokkaaksi. Ekotehokkuudessa keskitytään kaavoituksen alkuvaiheesta lähtien rakentamis-, energia- ja liikennejärjestelyvaihtoehtojen vertailuun ja valintoihin, jotka perustuvat energiansäätöön ja resurssitehokkuuteen. Menetelmällä lähdetään kehittämään alueen kaavaa mahdollisimman ekotehokkaiden ratkaisujen pohjalta. Kaavoituksen vaihtoehtotarkasteluissa tehdään materiaalitehokkuus-, hiilijalanjälki- sekä energiajärjestelmäanalyysit, joiden avulla voidaan luoda hiilijalanjälkilaskenta, jolla varmistetaan rakennushankkeiden ECO₂ -hankkeen sekä Tampereen kaupungin tavoitteisiin pääsy. (Tampereen kaupunki 2015c.)

Aurinkorinteen alue toimii yhtenä esimerkkikohteena myös Ekokumppanit Oy:n RETU -Resurssitehokasta uusiutuvaa energiaa -hankkeessa. RETU -hanke toimii tämän opinnäytetyön taustana, jonka mukaan erillispientalokorttelit 7727-7728 ovat valikoitu tämän työn esimerkkikohteiksi. Tampereen kaupungin tytäryhtiön hankkeessa suunnitellaan toimintamallia alueellisten energiaratkaisujen toteutukselle. Hankkeessa etsitään erilaisia vaihtoehtoja toimintamallille, jotta mallista saadaan skaalattava ja muunneltava kohdealueen vaatimusten mukaisiksi. Toimintamallin on tarkoitus auttaa kaavoituksesta vastaavan kunnan tai kaupungin, asiakkaan ja energiaratkaisuista vastaavien yrityksen yhteisymmärrykseen pääsyä. (Holm 2015, 3-5.)

Rakennustekniikassa, erityisesti pientalorakentamisessa, kaukolämpö on edustanut vähähiilisimpiä ja tehokkaimpia lämmitysratkaisuja. Viime vuosina uudet lämmitysratkaisut, kuten kevennetty kaukolämpöteknologia, maalämpöjärjestelmät sekä tehokas lämmöntalteenotto ovat kuitenkin lisänneet suosiotaan varteenotettavina vaihtoehtoina. Näiden

vaihtoehtoisten ratkaisujen kannattavuuteen vaikuttavat olennaisesti uusien alueiden kattavuuden puute kaukolämmön suhteen, sähkön tai kaukolämmön hinta, paikalliset olosuhteet ja tarvittavien investointien hinta (Tampereen kaupunki, 2015c).

Vanhanen ym (2011, 5-6) mukaan lämmöntuotantomuotoa valittaessa ja mitoituksessa tulisi aina huomioida rakennettavan rakennuksen tuleva energiatehokkuus. Tämä tarkoittaa käytännössä rakennuksen lämpöenergiatarpeen selvittämistä. Lämmitysenergian tarpeen pieneminen uudisrakennuskohteissa muuttaa lämmitysmuotojen välistä kilpailutilannetta.

3 KOHDEALUE JA RAKENTAMINEN

Tässä kappaleessa esitellään opinnäytetyössä hyödynnettyä esimerkkikohdealuetta sekä tämän työn aikana voimassa olevia rakennusmääräyksiä ja käsitteitä.

3.1 Aurinkorinne

Tässä opinnäytetyössä esimerkkialueena käytetty Aurinkorinteen asuinalue sijaitsee Isokuusi-nimisellä alueella Tampereen Vuoreksen kaupunginosassa noin 8 kilometrin päässä Tampereen keskustasta etelään ja noin 3 kilometrin päässä Hervannan kaupunginosasta länteen. Tampereen kaupungin asemakaava 8349 selosteen (2015) mukaan Vuoreksen kaupungin osa rakentuu Vuoreksen keskustan läpi kiemurtelevan Vuoreksen puistokadun ympärille. Isokuusi on uusi Vuoreksen kaupunginosa. Alueelle on asetettu energia- ja ekotehokkuustavoitteet, joiden mukaan kodit sekä rakennukset rakennetaan energiatehokkaiksi minimoimalla lämmityksen tarve. Tampereen kaupungin asemakaava 8349 selosteessa (2015) pyritään rohkaisemaan näillä tavoitteilla pilotointityyppiseen resurssitehokkuuteen ja ekorakentamiseen. Tämän tyyppiset kaavoitukseen sidotut suositukset vaikuttavat alati tiukentuvien rakentamismääräysten kanssa lopulliseen talon lämmitysratkaisuun.

Asemakaavaselosteessa (2015) tarkennetaan Isokuusen energiatehokkuustavoitteita mainitsemalla kaavoituksen yhteydessä tehdyt selvitykset nollaenergiatalo-konseptista, joka kohdistuisi erityisesti pien- ja erillispientalokortteleihin kuvassa 2. Kyseisen konseptin takana on FinZEB -hanke, jonka tavoitteena on luoda kansallinen nollaenergiatalon määritelmä. Kyseisessä määritelmässä pääpainona on luoda edellytykset nollaenergiatalon rakentamiseen vaikuttamalla suunnitteluun ja lämmitysratkaisujen valintoihin jo kaavoitusvaiheessa. Isokuusen alueen kohdalla on todettu, että kaavoituksessa tehdyt maa-lämpö- ja aurinkoenergiaratkaisut olisivat riittävät mahdollistamaan nollaenergiarakentaminen. (Tampereen kaupunki 2015c.)



KUVA 2. Kuvassa Aurinkorinte asuinalue on rajattu sinisellä ääriveriivillä ja erillispientalokorttelit 7727–7728 punaisella (Tampereen kaupunki 2014a)

Isokuusen alueella tullaan kiinnittämään huomiota tontinkäyttösuunnitelmissa erityisesti rakentamisen elinkaariajatteluun. Tampereen kaupungin Rakentamistapaohje (2014) suosittelee suunnittelemaan asunnot mahdollisimman monikäyttöisiksi ja muuntojoustaviksi suosimalla kestäviä ja samaan aikaan käytännöllisiä pitkäikäisiä ratkaisuja, joissa otetaan huomioon rakenteiden kierrätettävyys.

Pinnanmuodostus

Kaavoitetun alueen pinnanmuodot ja korkeuserot vaihtelevat. Aurinkorinte eteläosassa sijaitsevat alueen alimmat korkeusasemat, Virolaisen läheisyydessä, ovat noin 119 metriä meren pinnan yläpuolella (mmpy). Sen sijaan alueen ylin korkeusasema, noin +138 mmpy, sijaitsee harjanteen laella alueen pohjoisosassa. Kaava-alueen rinne on etelään ja lounaaseen aukeavaa topografisesti suhteellisen jyrkkää aluetta, josta noin 10 prosenttia on jyrkkiä rinteitä. Maaperältään rinteet ovat pääosin moreenia ja kalliota, jotka keräävät lämpöä ja läpäisevät vettä. Rinteen aukeamissuunta sekä maaperä luovat hyvät edellytyk-

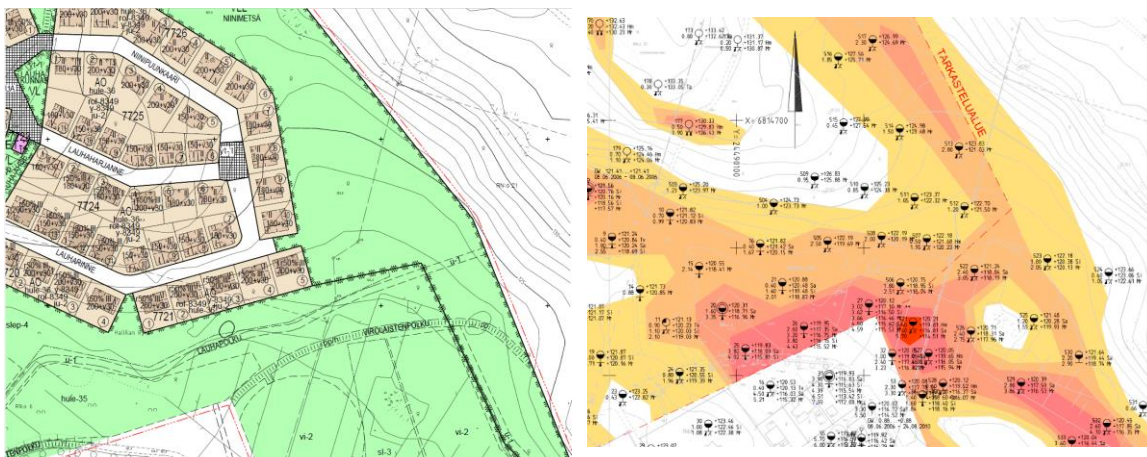
set rakentamiselle sekä asuin viihtyvyydelle. Kuvan 3 havainnekuvassa näkyvä Virolaisen rannan alueen eteläosassa kuitenkin sijaitsevat alavat soiset niittyalueet, jotka ovat kylmän ilman painanteita (Tampereen kaupunki 2015c).



KUVA 3. Havainnekuva Aurinkorinte alueesta. Näkymä on alueen pohjoisosasta - näkymä suunta etelään Virolaisen rantaan (Tampereen kaupunki 2015c)

Maaperä

Maaperältään Aurinkorinne on tyypillistä rinne- ja mäkialuetta: ohuiden moreenikerrostumien peittämää kallioaluetta. Asemakaava selosteen (2015c) mukaan pintakerrosten ohuus korostuu paikoin näkyvillä olevasta kallioista kuvan 3 mukaisesti, jossa pintakerrosten paksuus on ilmaistu väreinä ja paljaana näkyvän kallion kohdat valkoisena. Alueen selänteiden väliset laaksomuodostumat ovat pääosin silttiä ja savea turvekerrostuman alla. Turvekerros voi olla puoli metriä paksu laaksojen alimmilla kohdilla (Tampereen kaupunki 2015c).



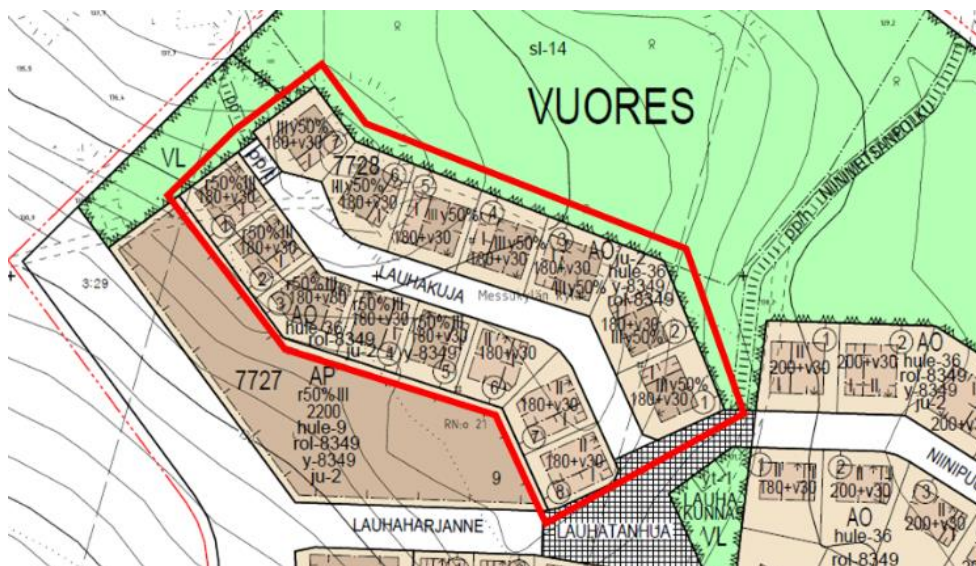
KUVA 4. Havainnekuva (vas.) Aurinkorinteen Niinipuunkaaren, Lauhaharjanteen ja Lauharinteen alueelta sekä maaperäselvityskuva (oik.) samalta alueelta. (Tampereen kaupunki 2014b)

Vuoreksen jätteiden putkikeräysjärjestelmä

Vuoreksen asuinalueilla on toteutettu jätehuolto maan sisään rakennetulla putkikeräysjärjestelmällä. Järjestelmän laajuus on arviolta 450 000 kerrosneliömetriä ja palvelee 9100 - 9300 käyttäjää julkiset ja yksityiset toiminnot mukaan luettuna. Järjestelmä otettiin käyttöön vuoden 2012 Virolaisen asuatomessualueella (Tampereen kaupunki 2015c). Aurinkorinteen energialaitoksen maalämpöä koskevan osuuden kannalta on syytä ottaa huomioon jätteiden keräysjärjestelmän infrastruktuurin rakennus, sillä kiinteistöillä sijaitsevista keräyspaikoista vedettävät liityntä- sekä runkoputkistot hankaloittavat maalämpökeskuksen poraamisvaiheen testiporauksia sekä itse maalämpökaivojen poraamista.

3.2 Erillispientalokorttelit 7727–7728

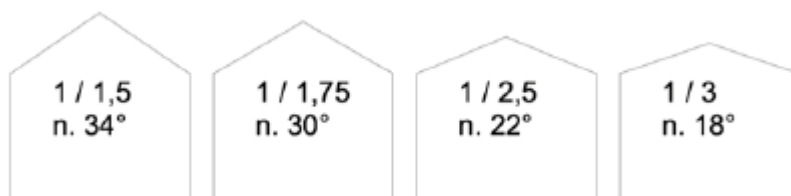
Erillispientalokorttelit 7727–7728 sijaitsevat Aurinkorinteen alueen pohjoisosassa Lauhakujailla. Korttelit käsittävät 15 erillispientaloa. Talojen enimmäissallittu kerroslukumäärä on kolme ja kerrosalaa pitää olla vähintään kahdessa kerroksessa. Useimmat tonteista on merkitty siten, että tonteille ei saa rakentaa kellaria alimman asuinkerroksen alapuolelle, vaan rakennukset on porrastettava rinteen luonnollisesti viettävän maanpinnan mukaisesti. Enimmäisrakennusala on $180+30\text{m}^2$. (Tampereen kaupunki 2015c.)



KUVA 5. Kuvankaappaus asemakaavasta erillispientalokortteleista 7727 ja 7728 (Tampereen kaupunki 2015a)

Kattokulmat

Aurinkorinteen asuinalueen suunnittelussa on otettu huomioon aurinkoenergian hyödyntäminen talokohtaisissa ratkaisuissa, esimerkiksi talon päälämmitysjärjestelmän lisänä. Auringonenergian hyödyntämisen kannalta suotuisimmat harjan suuntaukset erillispientalokortteleissa 7720–7722 ja 7724–7728 on annettu Aurinkorinteen rakentamistapaohjeessa (Tampereen kaupunki 2014a). Kuvassa 7 sinisellä värillä värjättyjen talojen ohjeellinen kattokulma on taulukon 1. mukaisesti 30–35° ja oranssilla värillä olevien talojen 18–23°. Kattokulma määrittää pitkälti talon profiilia ulkoapäin sekä vaikuttaa sisätilojen käytettävyyteen ylimmässä kerroksessa. Kuvan 6 mukaan mitä isompi kattokulma aste-lukema on, sitä terävämpi katon harjasta tulee.



KUVA 6. Asuinrakennusten kattokulmatyypit esitettynä murtolukuina sekä vastaavina astekulmina (Tampereen kaupunki 2014a)

Aurinkorinteen alueelle tehdyn aurinkoenergiapotentiaaliraportin mukaan taulukon 1 mukaiset talojen suuntaukset eivät vaikuta mahdollisen aurinkolämpö- tai -sähköjärjestelmän tuotantoon pienillä kattokulmilla. Kaltevuuskulman merkitys korostuu (kuva 6) mukaisesti katon kaltevuuskulman jyrkentyessä, sillä harjan korkein kohta varjostaa katon pohjoispuoleista lapetta sitä pidemmän ajan päivästä, mitä jyrkempi kulma on. (GreenEnergy Finland Oy 2014.)



KUVA 7. Erillispientalojen harjan suuntausehdotukset (Tampereen kaupunki 2014a)

Rakentamistapaohjeistuksen (2014) mukaisesti talot on suositeltu rakentamaan kuvion 6 mukaisesti erillispientalokortteleissa. Suositus perustuu GreenEnergy Finland Oy:n konsultointityönä alueelle tekemän raportin tuloksiin aurinkoenergian käytettävyydestä Aurinkorinteen alueella (GreenEnergy Finland Oy 2014). Tampereen kaupungin rakentamistapaohjeistuksen (2014) mukaan etelän suuntaisen Aurinkorinteen asuinalue mahdollistaa aurinkokeräimien ja -paneelien toteutuksen rakennuksien yhteyteen. Esimerkiksi aurinkokeräimet voidaan sijoittaa julkisivuille, katoille tai parvekkeisiin. Suosituksena kuitenkin on, että aurinkokeräimet sulautuvat talon väriytykseen. Aurinkoenergiajärjestelmä pitää hyväksyttää tontinkäyttösuunnitelman yhteydessä rakennusluvan saamiseksi. (Tampereen kaupunki 2014a.)

TAULUKKO 1. Rakentamistapaohjeistuksen mukaiset suositukset erillispientalojen kattojen lappeen suuntaukselle sekä optimaaliselle kattokulmalle, jotta aurinkoenergiaa pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti (Tampereen kaupunki 2014a muokattu)

Kortteli	Tontit	Lappeen suuntaus	Kattokulma
7727	1-2	kaakko	30–35°
	3-6	itä-länsi	18–23°
	7-8	etelä	30–35°
7728	1-2	itä-länsi	18–23°
	3-6	itä-länsi	18–23°
	7	kaakko	18–23°

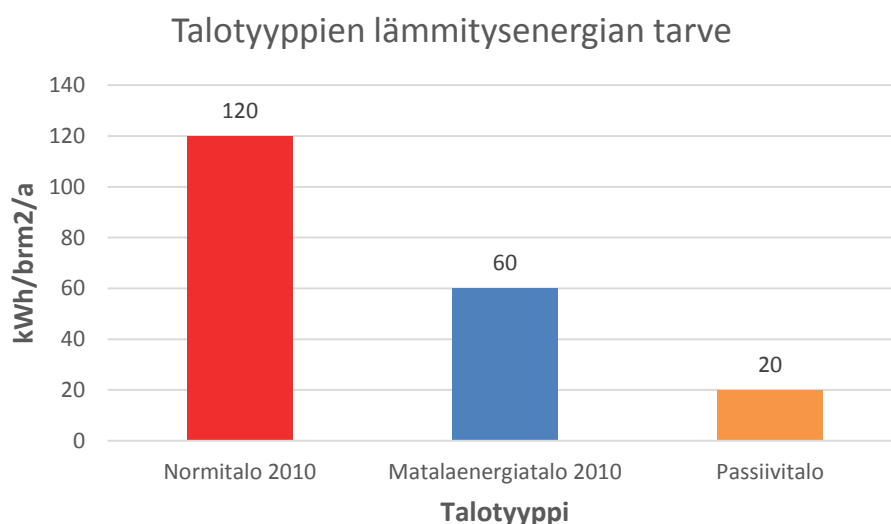
3.3 Rakennusmääräykset

Rakennusala koskeva yleisen lainsäädännön kehitys edellyttää kotien rakentamista energiatehokkaiksi lämmitysenergian tarve minimoiden. Energiatehokkuuden tarve riippuu asuntoalueen rakentamisvaiheiden sen hetkistä voimassaolevista rakentamismääräyksistä. Eero Paloheimon (2012) mukaan Isokuusen alueelle on asetettu ekotehokkuustavoitteet PuuVuores- ja ECO2-hankkeiden taholta, joissa tavoitteena on edistää energiatehokasta rakentamista. Tulevien rakennusten oletetaan näin ollen rakentuvan matala-, passiivi tai plusenergiatasoon, kun ensimmäiset kohteet tulevat valmistumaan aikaisintaan vuosina 2016–2017 (Tampereen kaupunki 2015c).

Matala-, passiivi- ja plusenergiaenergiatalo

Rakentamismääräysten mukaisten ET- ja E-lukujen muuttuessa on hyvä tarkistaa rakentamisen suunnitteluvaiheessa voimassa olevat arvot sekä käsitteet, ennen kuin tehdään lopullisia päätöksiä rakentamisen suhteen. Monesti virheellisesti luullaan vuoden 2012 rakentamismääräysten mukaisen matalaenergiatalon tarkoittavan samaa asiaa kuin passiivitalo. Pohjolan Ekotalo OY (2016) mukaan tämä johtuu siitä, että vuoden 2012 rakentamismääräysten mukainen matalaenergiatalo on VTT:n mukaan talo, jonka lämmitysenergiankulutus on vähintään 50 % pienempi kuin vuonna 2010 rakennetun niin sanotun normitalon, joka täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman vähimmäisvaatimukset.

Passiivienergiatalon määritelmän mukaan talo ei vaadi erillistä lämmitys- tai jäähdytysenergiaa, vaan tiloja voidaan lämmittää esimerkiksi hyödyntämällä aurinkoenergiaa passiivisesti tai tilojen käytöstä aiheutunutta lämpöä. Passiivitalon vähäinen lämmitys-tarve perustuu parhaaseen mahdolliseen lämmönpitävyyden. On arvioitu, että näin teke-mällä kyetään lämmittämään passiivitalo jopa 8-9 kuukautta vuodesta. (Pohjolan Ekotalo Oy 2016.) Määritelmä on häilyvä, sillä esimerkiksi Suomessa ei päästäisi kustannuste-hokkaaseen passiivienergiatalontasoon ilman lämmitysenergiaa talviaikaan. Motivan ma-talaenergiatalon määritelmien mukaan (Motiva 2015b) passiivitalon laskennallinen läm-mitysenergiantarve, ET-luku, on Pohjois-Suomessa 30 kilowattituntia lämmitettävää bruttoneliötä kohden (kWh/brm^2), Keski-Suomessa $25 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ ja Etelä-Suomessa $20 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ vuodessa. Passiivitalojen lämmitys- ja jäähdytysenergiantarve ilmoitetaan yleensä ilman laitesähkökulutusta. (Pohjolan Ekotalo Oy 2016.)



KUVIO 1. Eri talotyyppien lämmitysenergian tarve (Pohjolan Ekotalo Oy 2016 muokattu)

Nollaenergiataloksi voidaan kutsua taloa, joka tuottaa saman verran uusiutuvaa energiaa kuin se kuluttaa uusiutumatonta. Tästä tasosta vielä seuraava askel on plusenergiatalo, joka taasen tuottaa enemmän energiaa vuositasona kuin se kuluttaa. (Pohjolan Ekotalo Oy 2016.)

Energiatehokkuusluku, ET- luku, ilmoittaa rakennuksen laskennallisen energiantarpeen (Pohjolan Ekotalo Oy 2016). ET-lukua käytettiin 1.7.2012 asti energiatodistuksissa pientalojen energialuokan määrittämisessä (Energiatehokas koti -hanke 2016). Laskennallinen energiantarve saadaan kertomalla talon energiatason mukainen kilowattituntimäärä bruttoneliöillä. Energiatason mukainen kilowattituntimäärä saadaan arvioimalla rakennuksen energiantarve käyttämällä lämmitykseen, käyttöveteen, sähkölaitteisiin ja jäähdytykseen kuluvan kokonaisenergian määrä. Luku ilmoitetaan yksiköllä kWh/brm²/vuosi. Passiivitalojen laskennassa ei tarvitse ottaa huomioon sähkölaitteikulutusta. (Pohjolan Ekotalo Oy 2016.)

ET-luvun tilalle otettiin käyttöön kokonaisenergiankulutusta ilmaiseva E-luku, jossa energiatehokkuusvaatimukset pysyvät samana kuin ET-luvussa. Uutena huomioon otettavana tekijänä tuli lämmitysmuodon valinnan vaikutus lopulliseen energiatodistukseen. Lämmitysmuodon valinnalla ja energianlähteellä on suuri merkitys kokonaisenergiankulutuksen kannalta, sillä energiamuodoille on annettu kertoimet, jotka vaikuttavat lopullisen energialuvun määräytymiseen. Kertoimilla tasoitetaan hintakilpailua eri energiamuotojen välillä, kun esimerkiksi sähkön kertoimen ollessa 1,7, kaukolämmön kerroin on 0,7 ja uusiutuvien energiamuotojen 0,5. Mitä pienempi kerroin energiamuodolla on, sen vähemmän sen katsotaan tuottavan päästöjä ja näin ollen vaikutus E-lukuun on pienempi. (Energiatehokaskoti 2016.) Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä vertailu karkeilla arvioilla, jonka takia E-luvun edellyttämiä kertoimia sekä kokonaisenergiatarkastelua ei ole otettu huomioon.

Kuvion 1 ET-luvuilla voidaan tehdä karkeita vuotuisia esimerkkilaskelmia eri energiatason uudispienrakennuskohteille. Esimerkiksi kokonaispinta-alan ollessa 180 m², vuoden 2010 rakentamismääräysten mukaisen uudistalon lämmitysenergiantarve voidaan laskea seuraavasti:

$$120 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ vuosi}} \times 200 \text{m}^2 = 21\,600 \frac{\text{kWh}}{\text{vuosi}}$$

Vastaavan matalaenergiatason rakennuksen vuotuinen tarve on 10 800 kWh/vuosi, kun taas passiivitalon tarve on vain 3600 kWh/vuosi. Talotyyppien ET-luvut kuvaavat laskennallista keskivertovuoden lämmitysenergiatarvetta, joka ei ota huomioon keskimääräistä kylmempiä kesä- tai talvikuukausia (Motiva 2015b).

Rakennuskustannuksissa passiivitalo on noin 3-5 % kalliimpi, sillä lisäeristeet sekä materiaalit ovat kalliimpia, mutta erillisiin lämmitysjärjestelmiin ei tarvitse vastaavasti investoida yhtä paljon, jolloin säästöt alkavat kertyä jo heti talon valmistumisesta lähtien. (Pohjolan Ekotalo Oy 2016.)

Tampereen kaupungin tekemän Rakentamistapaohjeistuksen mukaan (2014) asennettaessa mahdollinen ilmalämpöpumppu yksikkö erillispientaloon, ulkoyksikön sijoitus pitää ottaa huomioon haettaessa rakennuslupaa, sillä vuonna 2016 voimassa olleiden rakennusmääräysten mukaan tulee ulkoyksikön sijoittamiselle olla rakennusluvassa varaus. Tämä tulee olla myös yhtiömuotoisten pientaloasuntojen suunnitelmissa esillä. Tämä johtuu siitä, että halutaan varmistaa ulkoyksikön esteettinen näkymättömyys suoraan kadulle. Rakentamistapaohjeessa (2014) huomautetaan, että mikäli ilmalämpöpumpun yksikkö sijaitsee talon sivulla, josta se näkyy kadulle, tulee se verhota rakennukseen sopivalla säleiköllä, joka myös ohjeistuksen mukaan suojaa ilkeivallalta. Ulkoyksikön kondenssivedet on ohjattava rakennusmääräysten mukaisesti joko viemäriin tai rakennuksen sadevesijärjestelmään ilman, että toimenpide aiheuttaa rakenteille kosteusvaurioita (Helsingin kaupunki: Rakennusvalvontavirasto 2015).

4 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

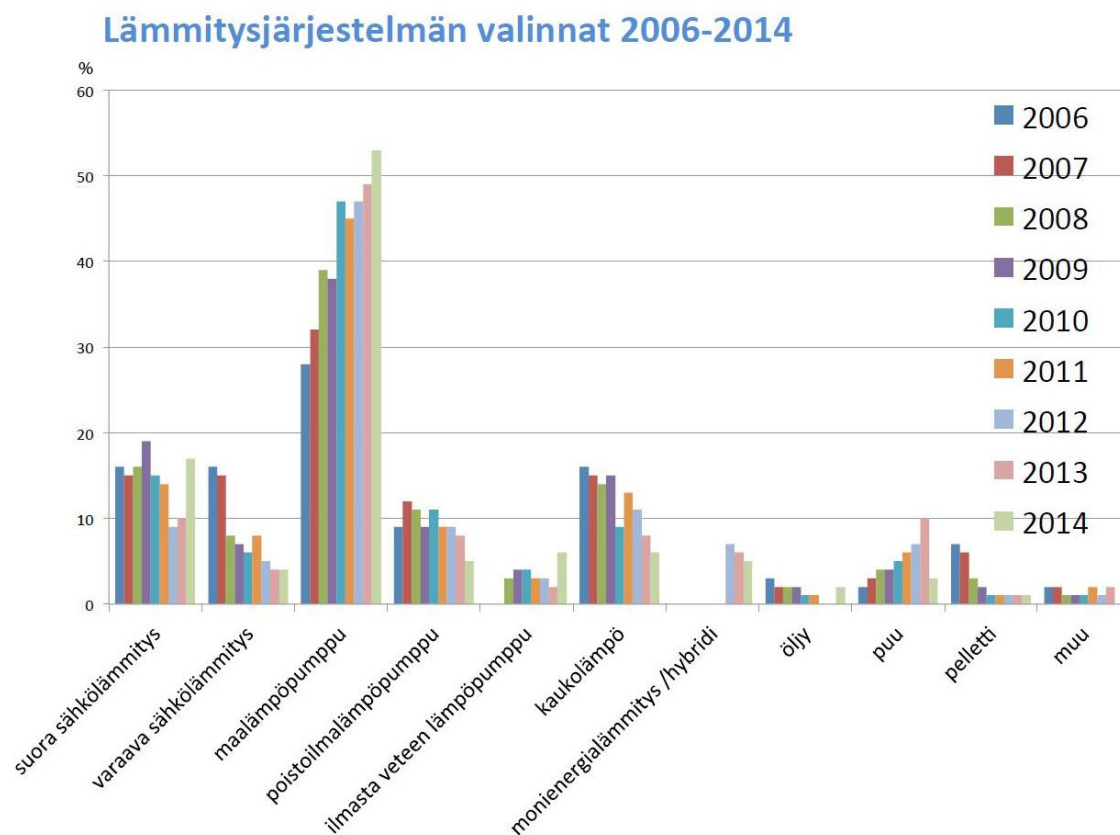
Tässä kappaleessa esitellään eri vaihtoehtoja lämmitysjärjestelmän uusiutuvaksi energianlähteeksi.

Lämmitysjärjestelmämarkkinoiden yksi isoimmista yrityksistä, Robert Bosch Oy, on koonnut uudisrakentajalle oppaan omakotitalon lämmitysjärjestelmän valinnalle, jossa on myös muistilista siitä, kuinka suunnitella oman kodin lämmittäminen ja millä perustein valinnat kannattaa tehdä. Robert Bosch Oy:n (2016) Muistilistan ensimmäinen askel on käytössä olevan budjetin suunnittelu. Opas muistuttaa, että investoinniltaan edullisin järjestelmä saattaa olla käytössä ollessaan kalliimpi kuin järjestelmä, jonka alkuinvestointi on alussa suurempi. Seuraava askel on selvittää rakennusvalvontaviranomaiselta voimassa olevat säädökset sekä määräykset, jotka saattavat rajoittaa lämmitysjärjestelmän valintaa. Itse järjestelmää suunniteltaessa Boschin opas (2016) suosittelee valitsemaan vesikiertoisin järjestelmän. Tämä mahdollistaa järjestelmän vaihtamisen toiseen tarvittaessa. Opas myös suosittelee valitsemaan lämmitysjärjestelmän ennen talopakettin valintaa, mikä auttaa ottamaan huomioon teknisen tilan suunnittelun paremmin ja näin ollen antaa paremmat edellytykset lämmitysjärjestelmän vaatimuksille. Oppaassa (2016) muistutetaan harkitsemaan omaa panostusvalmiutta tulevan talon lämmittämisessä, sillä sen puute voi sulkea pois useamman järjestelmän vaihtoehtolistalta. Yksi tärkeimmistä neuvoista oppaassa on aina pyytää tarjoukset kokonaisuudesta alan ammattilaiselta, joka koostaa laitteiston investoinnin ja asennuksen lisäksi takuutiedot, vastuunoton erittelyn sekä järjestelmän sopivan mitoituksen. Lämmitysjärjestelmän valintaopas (2016) muistuttaa viimeiseksi uudisrakentajan muistilistassa ympäristöystävällisyyden huomioon ottamisen olevan jokaisen ihmisen mahdollisuus vaikuttaa omalta osaltaan hiilijalanjäljen pienentämiseen.

4.1 Maalämpö

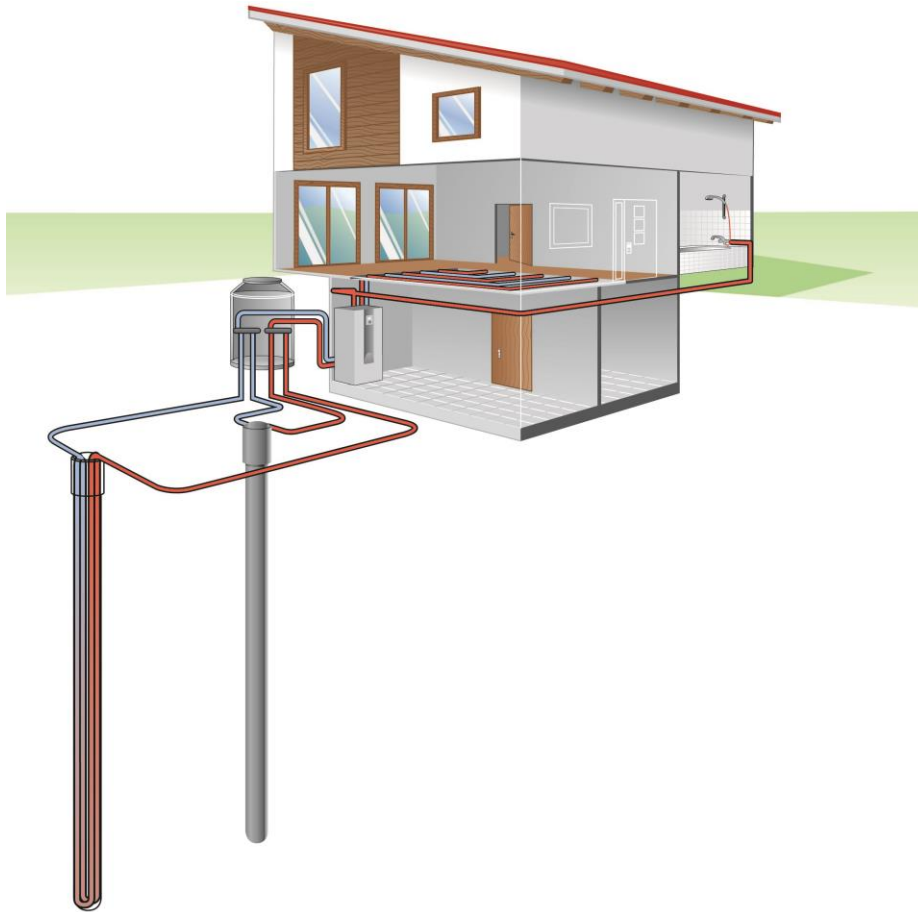
Maalämpö on kallioon, maaperään tai pohjaveteen varastoitunutta energiaa. Se muodostuu kahdesta eri tekijästä: auringon säteilyn tuottamasta lämpöenergiasta, joka ulottuu Suomessa noin 15 metrin syvyyteen, sekä maansisäisestä eli geotermisestä lämmöstä, joka muodostaa suurimman osan maalämpöjärjestelmillä kerätystä lämmöstä. Geotermisen lämpö syntyy maapallon ytimeistä kallioon ja maaperään johtuvasta fissioenergiasta radioaktiivisen hajoamisen yhteydessä. Suomen maaperässä ja kalliossa geotermisen

lämpö tuottaa 200 metrin syvyydessä noin 6 celsius asteen lämpötilan. (Motiva 2015 ;Robert Bosch Oy/ Bosch Termotekniikka 2016.)



KUVIO 2. Lämmitysjärjestelmien markkinaosuudet uusissa pientaloissa vuosina 2006–2014. Monienergiälämmitys/hybridi -lämmitysmuodon osalta tilasto on saatavilla vain vuosilta 2012–2014 (Pientalorakentamisen kehittämiskeskus ry 2015)

Maalämpöpumppujärjestelmät ovat nauttineet ylivoimaista markkinaosuutta, kuten kuvista 2 voidaan päätellä. Maalämpöjärjestelmien osuus koko Suomen markkinoista ylitti 50 prosentin markkinaosuuden vuonna 2014. Pientalorakentamisen kehittämiskeskuksen (2015) tilaston mukaan hybridijärjestelmien suosio on ollut maltillista, alle kymmenen prosentin markkinaosuudella, vuodesta 2012 lähtien.



KUVA 8. Maalämpöpumppujärjestelmä porakaivolla vesikiertoiseen lattialämmitysjärjestelmään kytkettynä (Kulmala 2015)

Maalämpöjärjestelmä koostuu pumppuyksiköstä, porakaivoista tai vaakakeruuputkistosta ja lämpöpumppuyksiköstä. Energiatehokas koti -hankkeen (2016) keräämien tietojen mukaan maalämpöjärjestelmän maalämpöpumpun toiminta-aika on 15–30 vuotta ja kompressorin 10–15 vuotta. Uusi kompressor maksaa 2000–3000 euroa. Toimintaperiaate on sama horisontaalisesti poratulla porakaivolla, vaakatason keruuputkistokentällä sekä vesistöön, järveen tai mereen, asennetulla lämmönkeruukentällä. Pumppuyksikön kompressor pumppaa -3 °C asteisen etanoliliuoksen porakaivoon, jossa nesteeseen sitoutuu maaperästä lämpöä. Pumppuyksikkö kierrättää porakaivoon pumpatun etanoliliuoksen, jonka lämpötila on noussut noin $+3\text{ °C}$ asteeseen. Kyseinen lämmönkeruuneste johdetaan höyrystimeen, jossa se lämmittää lämpöpumpun nestemäistä, noin -10 °C asteista kylmäainetta. Lämmitessään kylmäaine höyrystyy ja höyry johdetaan kompressoriin, jossa höyryn painetta nostetaan ja lämpötila nousee noin $+100\text{ °C}$ asteeseen. Paineistetun höyryn lämpö luovutetaan lauhduttimen avulla lämmönjakelujärjestelmään. Lämpöenergia luo-

vutuksen jälkeen kylmäaine vaihtuu takaisin nesteolomuotoon noin $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteen lämpötilaan samalla kun sen paine lasketaan alkuperäiseen paisuntaventtiilin avulla. (Kulmala, E 2015; Robert Bosch Oy/ Bosch Termotekniikka, 2016.)

Suosituin vaihtoehto on toteuttaa maalämpöratkaisu kuvan 8. kaltaisella kokoonpanolla: porakaivoilla ja lämmönjakelujärjestelmällä, jossa on vesikiertoinen lattialämmitys. Liitteessä 1. Bioenergiapörssi:n (2016) lämmityslaskuri on käyttänyt kyseisellä maalämpöjärjestelmän kokoonpanolla COP-arvona 3,3.

Motivan (2015a) tietojen mukaan Yli puolet maalämpöjärjestelmistä Suomessa on toteutettu ulkohalkaisijaltaan 115–165 mm porakaivoilla, joissa lämmönkeruuliuksena kiertää 30-prosenttinen etanoliliuos. Suosio johtuu tilan puutteesta, sillä Motiva (2015a) väittää porakaivolla toteutetun maalämpöjärjestelmän asentamisen onnistuvan ahtaallekin tontille, vaikka kyseinen ratkaisu ei ole välttämättä edullisin.

Tämän opinnäytetyön lämmitysjärjestelmien vertailussa yleisintä maalämpöjärjestelmää edustavat yhden talouden maalämpöjärjestelmälle tehdyt laskelmat MLP 1.

Korttelikohtainen maalämpö

Motivan (2015a) mukaan suuremmissa taloissa, taloyhtiöissä tai useamman kiinteistön maalämpöjärjestelmissä lattialämmitys on vuosihyötysuhteeltaan paras. Maalämpöpumppujärjestelmiä valmistavalla Senera Oy:llä (2012) on erilaisia malleja suurempien kiinteistöjen tarpeisiin. Järjestelmien tehot vaihtelevat 21 kilowatin ja 70 kilowatin välillä. Senera Oy:n (2012) mukaan kiinteistöjen vaatimusten mukaan järjestelmiä voidaan kytkeä rinnakkain mahdollistaen lämmityksen minkä tahansa kokoiselle rakennukselle tai kiinteistöille.

Laskelmissa useamman talouden ja korttelikokoluokan maalämpöjärjestelmille on laskettu laskelmat MLP5 ja MLP 15.

Tampereen kaupungin tekemän kaava 8349 asemakaava selosteen (2015) mukaan Aurinkorinteen asuinpientalokortteleissa on mahdollisuus toteuttaa keskitetty lämmitysratkaisu. Kuvassa 9 asuinpientalokorttelit on merkitty sinisellä viivalla. Aurinkorinteen eril-

Polttoaineiden ominaisuuksia vertailtaessa vertaillaan lämpöarvoa tai tehollista lämpöarvoa. Lämpöarvo kertoo kokonaislämpöenergiamäärän, jonka täydellisesti palanut polttoaine vapauttaa, ja yksikkönä käytetään MJ /kg. Tehollinen lämpöarvo kuvaa paremmin polttoaineen sisältämää energiamäärää, sillä se ottaa huomioon palamisen yhteydessä syntyvän ja polttoaineen sisältämän veden, joka sitoo energiaa höyrystyessään palamisen aikana. (Raiko, Saastamoinen, Hupa 2002, 136; Kurki-Suonio 2002, 123.)

4.2.1 Pelletti

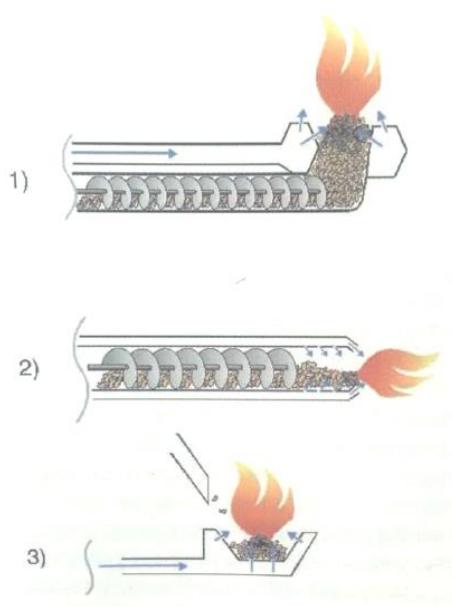
Pelletti on hiontapölystä, sahajauhoista, kutteripurusta tai jostain muusta hienonnetusta teollisuuden sivutuotteesta hydraulisesti kovan paineen alla puristettu tiivis kappale. Pelletit puristetaan halkaisijaltaan noin 6–12 mm ja pituudeltaan 10–30 mm kokoisiksi sylinterin muotoisiksi kappaleiksi. Kappaleet eivät tarvitse lisättyä sidosainetta, sillä puun oma liima-aine ligniini pitää puristetun pelletin kasassa, vaikka kosteusprosentti on alle 10 %. Energiasisällöltään pelletti on hyvin tiukkaan puristettua energiaa: yksi irtokuutiollinen pellettejä vastaa energialtaan 300–300 litraa kevyt polttoöljyä. Pelletin tehollinen lämpöarvo on 14–17,5 MJ/kg., ja yleisimmät pelletillä lämpiävät järjestelmät ovat hyötysuhteeltaan noin 0,82 luokkaa. (Metsäkeskus 2016; Robert Bosch Oy 2016.)



KUVA 10. Lähikuva valmiista pelletinappuloista (Pixabay 2014a)

Pellettijärjestelmät rakentuvat neljästä pääelementistä: varastosta tai siilosta, siirtoruuvista, stokeripolttimesta ja kattilasta. Energiatehokas koti -hankkeen (2016) keräämien tietojen mukaan pellettijärjestelmän pellettikattilan toiminta-aika on tyypillisesti 20–30 vuotta ja polttimen 10–15 vuotta. Uuden polttimen hankinta maksaa 1000 euroa. Pellettinappulat toimitetaan yleensä noin 500 kg säkeissä lämmitysjärjestelmän läheisyyteen, josta säkit tyhjennetään varastoon tai siiloon kattilahuoneen läheisyyteen. Jotta nappuloiden energiasisältö, laatu ja palamiskyky säilyvät, on siilon oltava kuiva, pölytiivis sekä staattisesta sähköstä vapaa alue. (Robert Bosch Oy/ Bosch Termotekniikka, 2016.)

Lämmityksessä pelletit kuljetetaan lämmityskattilan polttimeen ruuvikuljettimella varastosta tai siilosta. Termostaattiohjattu stokeripoltin polttaa pelletit ja kattilan pesän muotoilun aikaansaama toisiopalo sytyttää palokaasut nostaen lämpötilan korkeammaksi kuin tavallisessa puun poltossa, aikaansaaden paremman lämpöenergian hyötysuhteen sekä vähemmän hiukkaspäästöjä ja nokea. Lämmönjako tapahtuu yleensä vesikeskuslämmityksen välityksellä lämpövaraajan kautta, jonka vesi vastaanottaa kattilan lämmön. (Bioenergia Ry 2016.)



KUVA 11. Alasyöttöisen- 1), vaakasyöttöisen- 2) ja päältä syötettävän polttimen 3) kuvat (Knuuttila 2003, 95)

Pellettijärjestelmän huoltoväli tiheys riippuu itse järjestelmästä. Pellettikattilan nuohominen, tuhkan ja noen poisto, kattilan säätöjen tarkistus sekä polttimen palopesän ja kattilan puhdistus pitävät järjestelmän toimintavarmuutta yllä, sekä hiukkaspäästöt alhaisina.

TAULUKKO 2. Lämmitysenergian kuluttajahintoja joulukuussa 2015 (Suomen virallinen tilasto 2015)

Energia	Hinta €/MWh
Kevyt polttoöljy (alv 24 %)	66,3
Kotitaloussähkö (alv 24 %)	117,6
Puupelletti (alv 24 %)	58,0
Kaukolämpö, rivitalo / pienkerrostalo (alv 24 %)	77,15

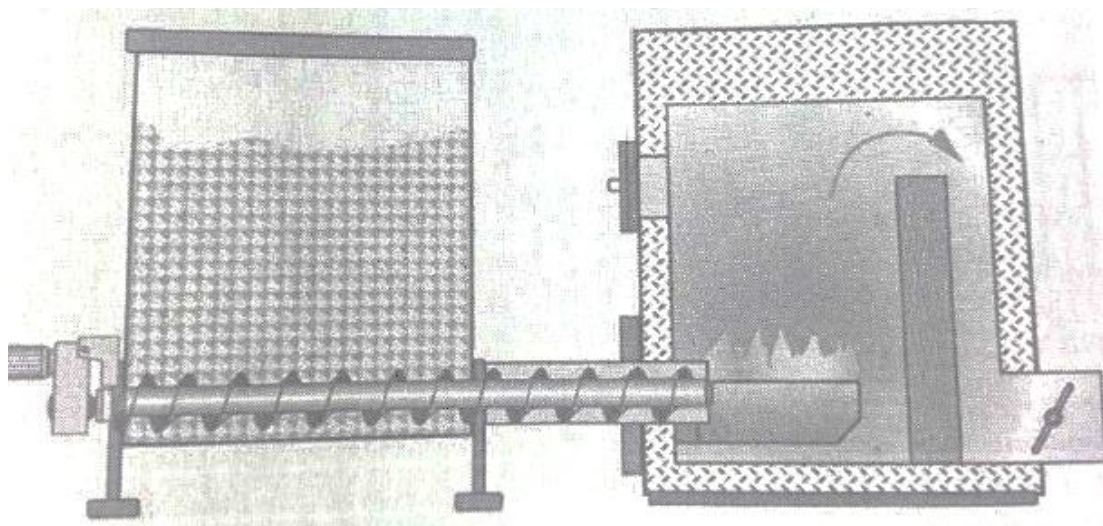
Taulukon 2 mukaan puupellettienergia on edullisempi, 58 euroa (verollinen hinta), kuin kaukolämmöllä, 77,15 euroa, tai kevyt polttoöljyllä, 66,3 euroa, tuotettu energia. Tilastokeskuksen (2016) mukaan puupelletin kuluttajahinta helmikuussa 2016 oli 5,76c/kWh.

TAULUKKO 3. Pelletin kuluttajahinta helmikuussa 2016 (Suomen virallinen tilasto 2016)

Ajankohta	Hinta, e/t	Hinta, c/kWh	Indeksi 2010=100	Vuosimuutos, %
2/2016	273,4	5,76	104,7	-1,4

4.2.2 Hake

Hakkeen käyttö on hyvin samankaltaista pellettiin verrattuna. Raaka-ainetta saadaan metsäyhtiöiltä, maanomistajilta ja muilta, joille hake ja pilke ovat käyttämätön sivutuote. Hake on yleisnimitys biomassalle, joka on saatu hakettamalla puiden latvukset, oksat ja kannot. Sitä saadaan myös harvennushakkuiden yhteydessä kertyneistä puuaineksista. Polttoaineen valmistusvaiheessa pyritään tuottamaan tasalaatuista ja kooltaan samanlaista ainesta, jotta polttovaiheessa ei syntyisi syöttöhäiriöitä. (Lappalainen 2007, 11; Kuitto 2004, 298.) Haketta käyttävät lämmitysjärjestelmät ovat kuitenkin myös muuntokykyisiä, mikä tarkoittaa sitä, että yhden hake-erän loppuessa voidaan hyödyntää eri hakelajiketta. Tämä tarkoittaa järjestelmän kannalta pientä hienosäätöä, mutta laadun ollessa tasaista hyötysuhde saadaan pidettyä lähes ennallaan. (Robert Bosch Oy 2016; Bio-Expert Oy 2015.)



KUVA 12. Polttoaineen kuljetus ruuvikuljettimen avulla polttimeen (oikealla) tasaisella syötöllä polttoainevarastosta (vasemmalla) (Harju 2002, 70)

Toiminta-aika hakejärjestelmän kattilalla ja polttimella ovat samat kuin pellettijärjestelmässä (Energiatehokas koti -hanke 2016). Termostaatin ohjaama automatisoitu syöttöruuvi kuljettaa kuvan 12 havainnollistamalla tavalla haketta stokeripolttimeen, jossa hake poltetaan korkeassa lämpötilassa. Kuvassa 12 on käytetty vaakasyöttöistä poltintekniikkaa. Kiinteän ja kaasuuntuneen polttoaineen palaessa syntynyt lämpö ohjataan käyttövesiastian ympärillä olevaan kierukkaan, joka lämmittää käyttöveden. Bio-Expert Oy (2015) huomauttaa, että hakejärjestelmän ja pellettijärjestelmän isoimpana erona on, että hakelämmitys vaatii hakesiilon lisäksi välivarastointitilaa hakkeelle tai haketettavalle puunrangalle. Hakepolttoaine tarvitsee siis huomattavasti enemmän säilytystilaa pellettiin verraten. Hakelämmitysjärjestelmän siirtolaitteiden sekä stokeripolttimen täytyy olla järeämpiä kuin pellettijärjestelmässä hakkeen suuremman kosteuden ja hakeaineen koon vaihtelun vuoksi (Bio-Expert Oy, 2015).



KUVA 13. Lämmitysenergiaksi hakettua puuta (Pixabay 2015)

5 JÄRJESTELMÄKUSTANNUSTEN, KÄYTÖN JA PÄÄSTÖJEN VERTAILU

Tässä kappaleessa tehdään vertailu eri energiamuotojen välillä. Vertailtavia näkökulmia ovat kustannukset, käyttö sekä päästöt, joita uusiutuvista energiamuodoista aiheutuu ympäristölle.

Vertailuissa on mukana yhdeksän lämmitysjärjestelmää kolmella eri uusiutuvalla energiamuodolla: yhden talon maalämpö- (MLP 1), viiden talon maalämpö- (MLP 5), viidentoista talon maalämpö- (MLP 15), yhden talon hakelämmitys- (HAKE 1), viiden talon hakelämmitys- (HAKE 5), viidentoista talon hakelämmitys- (HAKE 15), yhden talon pellettilämmitys- (PEL 1), viiden talon pellettilämmitys- (PEL 5) ja viidentoista talon pellettilämmitysjärjestelmä (PEL 15).

5.1 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmän eduksi voidaan lukea huomattavan edullinen tapa tuottaa lämpöenergiaa hyödyntämällä uusiutuvaa geotermistä energiaa. Verrattuna lämmitysenergian edullisuuteen yksittäisen talon maalämpöjärjestelmän alkuinvestointi on suuri, vaikka maalämpöjärjestelmien asentamisesta saatava kotitalousvähennys laskee suurta investointikustannusta. (Robert Bosch Oy/ Bosch Termotekniikka, 2016.)

Motiva Oy:n (2012) pientalon lämmitysjärjestelmäoppaan mukaan maalämpöjärjestelmä on melko huoltovapaa sekä käyttäjän näkökulmasta vaivaton käyttää. Maalämpöä varten porattuja porakaivoja voidaan myös käyttää talon viilennyksessä hyödyntämällä niin kutsuttua maakyilmäteknikkaa, jossa talosta kerätty lämpö johdetaan porakaivoon päinvas-
taisella tekniikalla kuin maalämmön ottaminen. Maalämpöpumppujen asentaminen vesi-
kiertoisen lämmönjakojärjestelmän yhteyteen myös mahdollistaa myöhemmässä vai-
heessa mahdollisen energiamuodon vaihtamisen (Motiva Oy 2012).

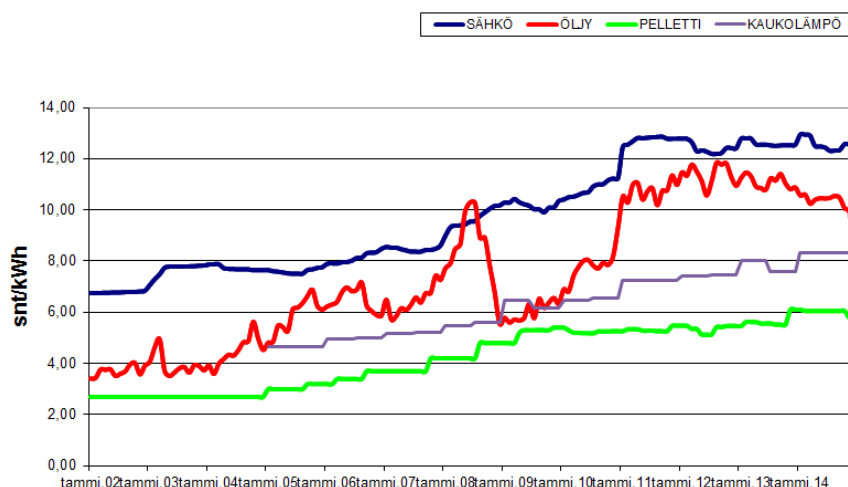
Päädyttäessä maalämpöjärjestelmään on hyvä ottaa huomioon muitakin kuin vain läm-
mittämiseen liittyviä seikkoja. Motivan (2015a) mukaan 1.5.2011 alkaen maalämpöput-
kiston kaivaukset, tutkimukset ja asentaminen edellyttävät kunnan tekniseltä toimelta

myönnettyä toimenpidelupaa, jonka saantiin vaikuttavat tontin maaperän muodostuminen, mahdolliset pohjavesialueet sekä kaavoitukselliset suojaetäisyydet. Vesistöihin asennettavat järjestelmät vaativat myös vesialueen omistajan luvan (Motiva, 2015a).

Aurinkorinteen alueella erillispientalokortteleissa 7727–7728 tilan puute voi koitua ongelmaksi, mikäli jokainen 15 taloudesta päättää hankkia talokohtaisen maalämpöjärjestelmän. Käytännöllisempi ratkaisu olisi keskitetty maalämpölaitos, jonka tilan tarve on suurempi kuin yksittäisen talon järjestelmän, mutta se vaatii huomattavasti vähemmän tilaa verrattuna 15 erilliseen maalämpöjärjestelmään. Lisäksi porakaivojen määrä on pienempi yksittäisessä järeämmässä järjestelmässä verrattuna 15 erilliseen yksikköön, sillä yksittäisen tehokkaamman yksikön porakaivojen pituutta lisäämällä voidaan saavuttaa vastaavat tehot kuin 15 lyhemmän yhteensä.

5.2 Pelletti biopolttoaineena

Pelletti energialähteenä on erittäin ympäristöystävällinen sekä kotimainen raaka-aine. Tämän lisäksi pellettijärjestelmän kustannuksissa voi säästää rakentamalla itse pellettisiilon. Pelletin hintakehitys on ollut maltillista kuvion 3 mukaisesti (Bioenergia ry 2015). Vuoden 2002 pelletin kilowattitunti hinta oli alle kolmen senttiä josta se on noussut parhaimmillaan hieman yli 6 senttiä kilowattitunnilta. Vuoden 2015 viimeisen neljänneksen hinta oli 5,26 snt/kWh. Pellettilämmitys on kuvion 3 mukaan ollut halvempaa vuosien 2002–2015 aikana kuin esimerkiksi kaukolämpö, mutta kysyntä on silti ollut vähäisempää kaukolämpöön verrattuna (Bioenergia ry 2015).



KUVIO 3. Energian hintakehitys 2002–2015 pienkiinteistöissä snt/kWh (Bioenergia ry 2015)

Haittapuolina pellettilämmitykselle voidaan katsoa sen käyttövaatimukset: kattilakivi pitää poistaa, jotta optimaalinen pelletin palaminen palamisprosessissa on jatkuvaa, pelletti tuottaa noin 10 kiloa tuhkaa jokaista 500 kilon pellettisäkkiä kohden, ja tuhka pitää poistaa jo pelkästään paloturvallisuuden vuoksi. Monissa järjestelmissä kuitenkin asennetaan automaationa toimiva tuhkanpoistolaitteisto, joka tosin lisää investointikustannuksia. Mikäli pellettien laatu on epätasaista, saattaa järjestelmässä ilmetä syöttöongelmia. Tämä tarkoittaa ylimääräistä puhdistusta sekä hienosäätöä. Robert Bosch Oy:n (2016) Lämmitysjärjestelmän valintaoppaan mukaan pellettien varastoinnin viemä tila on huomattava ja monesti se vaatii oman rakennetun varaston tai siilon.

5.3 Hake biopolttoaineena

Hakkeen käytön eduiksi voidaan lukea pelletin tavoin kotimaisuus sekä ympäristöstävällisyys. Lämmityskattila- ja stokeripoltin-polttotekniikoita käyttämällä pystytään käyttämään erityyppistä puuhaketta, eikä järjestelmä sido käyttäjää vain yhden polttoaineen varaan. Hakejärjestelmät kuluttavat sähköä erittäin vähän, mikä luo toimintavarmuutta sähköä hyödyntäviin järjestelmiin verrattuna.

Aurinkorinteen pientalokortteleiden 7727–7728 kannalta hakejärjestelmien suurimmat haittapuolet liittyvät järjestelmien järeyteen. Biopolttojärjestelmiä suositellaan yleensä tuottamaan lämpöä isompaan kohteeseen kuten maatilalle. Robert Bosch Oy:n (2016) lämmitysjärjestelmän valintaoppaan mukaan pientalokohteissa hakelämmitys voi olla liian järeä vaihtoehto, etenkin yksittäisissä matalaenergiatason kohteissa. Tällöin energiakustannukset nousevat turhaan suuren kapasiteetin vähäisen käytön takia (Robert Bosch Oy/ Bosch Termotekniikka, 2016). Hakejärjestelmää voidaankin ajatella potentiaalisena useamman pientalon lämmittämiskäytännönä, ei vain kustannusten, vaan myös ympäristöstävällisyyden takia, kuten luvuista 5.4 ja 5.5 selviää.

Hakejärjestelmien käytössä piilevät samat haasteet kuin pellettilämmityksessä. Käyttäjänäkökulmasta hakejärjestelmä on kuitenkin niistä haasteellisempi, sillä kiinteän hakepolttoaineen laadun epätasaisuus tarkoittaa huoltotoimenpiteitä, polttimeen ja kattilan tyhjentämistä tuhkasta. Hakkeen poltossa muodostuu kolminkertainen määrä tuhkaa pelletin polttoon verrattuna (Raiko ym 2002, 136; Alakangas 2000, 76).

5.4 Kustannusten vertailu

Kustannuserot lienevät käyttäjän kannalta merkittävin vertailutieto. Jotta esimerkkilaskelmiin saadaan vertailukelpoista dataa, on yksittäisten kohteiden lämmitysjärjestelmien lisäksi hyvä ottaa huomioon useamman talouden sekä kokonaisen korttelin yhteiset lämmitysjärjestelmät. Aurinkorinteen erillispientalokortteleihin 7727–7728 on kaavoitettu yhteensä 15 omakotitaloa. Seuraavat laskelmat on laskettu yhdelle, viidelle ja kaikille viidelletoista taloudelle eri energiamuotoihin perustuen. Liitteiden 1,2 ja 3 laskelmissa on käytetty 20 vuoden laskenta-aikaa, sillä lämmitysjärjestelmien toiminta-aikaodotukset vaihtelevat 15–30 vuoden välillä. 20 vuoden laskenta-aika antaa keskiarvollisen aikajakson, jonka kuluessa kunkin järjestelmän voidaan olettaa olevan vielä toiminnassa.

Lämmitysjärjestelmien kustannuksien laskennassa on käytetty Bioenergiapörssi.fi sivuston lämmityslaskurin tietoja, liite 4, jonka antamat hinta-arviot perustuvat uudispientalon lämmitysjärjestelmän hankintahintoihin. Bioenergiapörssin (2016a) mukaan laskentatuloksiin vaikuttavat talon lämmitystä vaativa pinta-ala, tilavuus, muoto, asukkaiden määrä, asuinkerrostenmäärä sekä rakennettavan kohteen sijainti, joka auttaa antamaan laskennoissa sääkorjauksen. Laskurin ohjeistus huomauttaa annettujen määrittävien kertoimien olevan muuttuvia ja näin ollen ne tuota vakiosummia. Tämä vaikuttaa laskurin antamien arvioiden tuloksiin lämmitysjärjestelmien investointien laskennassa. Laskennat eivät sisällä lämmönjakojärjestelmä- ja huoltokustannuksia. Voidaankin todeta, että lämmitysjärjestelmien valmistajat muistuttavat järjestelmien mitoituksen olevan aina tapauskohtaista, eikä yleistä mallia ole olemassa (Robert Bosch 2016; Senera Oy 2012; Pientalorakentamisen kehittämiskeskus ry 2015; Lämpö Ykkönen 2016). Bioenergiapörssin (2016a) laskurin esittelyn mukaan laskurin tarkkuus on parhaimmillaan 10-15 kW:n järjestelmiä vertailtaessa. Suurempia järjestelmiä vertailtaessa laskelmat voivat olla epätarkempia. Laskurin esittelyssä (2016a) huomautetaan, että laskurin arvot ovat lämmitysenergiatarpeen kohdalla arvioita keskimääräiselle lämmityskaudelle. Myös huipputehontarve on tilastolaskennallinen arvo, joka perustuu vuotuisiin kWh-arvoihin. Talon käytännön huipputehontarve uudiskohteissa, jopa matalaenergia-tasossa, voi olla normaalinakin lämmityskautena arviota suurempi käyttöveden kulutuksen sekä taloussähkön käytön epätasaisen jakautumisen vuoksi. (Bioenergiapörssi 2016a.)

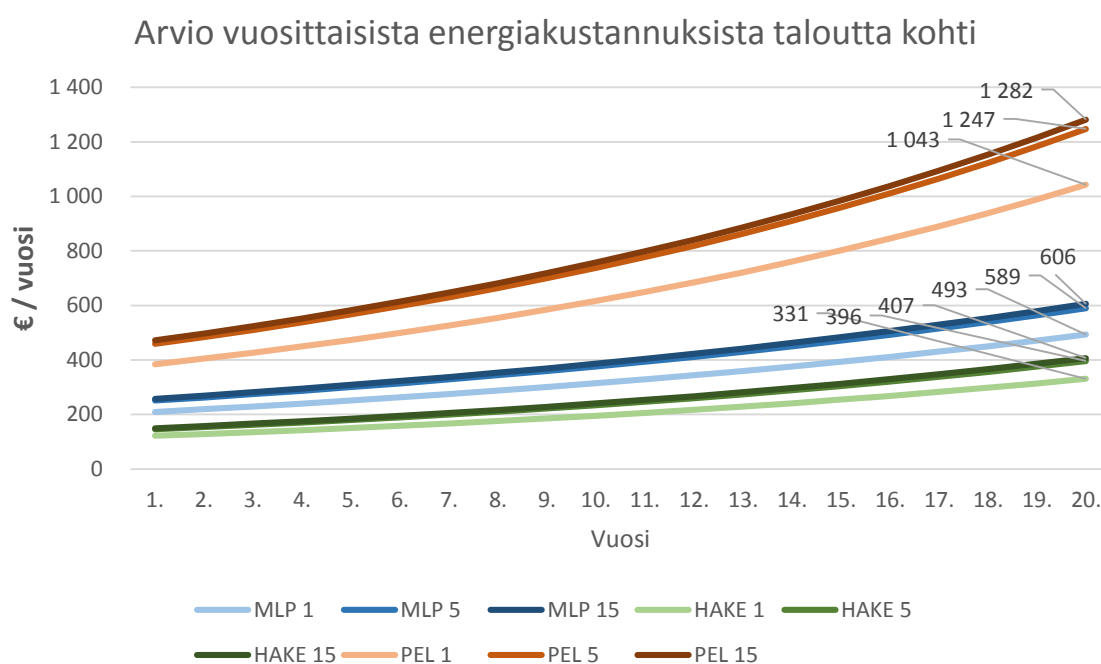
Erillispientalokortteille 7727 ja 7728 annettujen määräysten ja suositusten mukaisesti laskelmissa annettiin oletusparametrit, jotka vastaavat pitkälti Tampereen kaupungin Aurinkorinteen alueelle tekemän rakentamistapaohjeen antamia ohjeistuksia. Bioenergia-pörssin laskurilla laskettiin vertailuarvot seuraavilla tiedoilla: uudiskohde, matalaenergia-talo jossa sovelletaan vuoden 2012 rakentamismääräyksiä, talossa on kaksi kerrosta ilman kellaria, talo on suorakulmion mallinen pohjapiirustuksiltaan, talossa on 180 m² lämmitettävää pinta-alaa ja sisätilojen keskimääräinen korkeus on 2,5 metriä, sääkorjauskertoimeksi on valittu Tampereen ilmastovyöhyke ja asukaslukuksi on oletettu neljä henkilöä.

Lämmityslaskurin käytön hetkellä monet polttoaineiden hintatiedoista ovat vuodelta 2015. Tilastokeskuksen (2016) julkaisemien päivitettyjen kuluttajahintatietojen perusteella lämmityslaskurin tekemät laskelmat, polttoaineen hintana, pellettilämmitykselle olivat vanhentuneita, 0,526€/kWh, jotka jouduttiin laskemaan manuaalisesti uudelleen uudella polttoaineen hinnalla 0,576€/kWh. Muilta energiamuotojen osin uudempaa tietoa ei löytynyt tai sitten laskurissa käytetyt tiedot olivat viimeisimmät markkinahinnat. Motiva Oy (2015c) lämmitystapojen vertailulaskurin mukaan puupelletin energiahinnan nousu on ollut viimeisen kymmenen vuoden aikana 5,4 % ja sähkön 4,6 %. Näitä arvoja on käytetty laskettaessa arviot energiakustannuksille hinnan nousun kanssa taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Yhden, viiden ja viidentoista talon maalämpö- (MLP), hake- (HAKE) ja pellettijärjestelmien (PEL) vuotuiset energiakustannukset taloutta kohti. Hake ja pellettienergian arvioitu energiahinnannousu 20 vuoden aikana on 5,4 % vuodessa ja maalämmön käyttämän sähkön 4,6 %

	MLP 1	MLP 5	MLP 15	HAKE 1	HAKE 5	HAKE 15	PEL 1	PEL 5	PEL 15
1. vuosi	210	251	258	122	146	150	384	459	472
2. vuosi	219	262	270	128	154	158	405	484	497
3. vuosi	229	274	282	135	162	166	427	510	524
4. vuosi	240	287	295	143	171	175	450	538	552
5. vuosi	251	300	308	150	180	185	474	567	582
6. vuosi	263	314	323	158	190	195	499	597	614
7. vuosi	275	329	337	167	200	205	526	630	647
8. vuosi	287	344	353	176	211	216	555	664	682
9. vuosi	300	359	369	186	222	228	585	699	719
10. vuosi	314	376	386	196	234	240	616	737	757
11. vuosi	329	393	404	206	247	253	650	777	798
12. vuosi	344	411	423	217	260	267	685	819	841
13. vuosi	360	430	442	229	274	281	722	863	887
14. vuosi	376	450	462	241	289	297	761	910	935
15. vuosi	394	471	484	254	304	313	802	959	985
16. vuosi	412	492	506	268	321	330	845	1 011	1 038
17. vuosi	431	515	529	283	338	347	891	1 065	1 094
18. vuosi	450	539	553	298	356	366	939	1 123	1 154
19. vuosi	471	564	579	314	376	386	989	1 184	1 216
20. vuosi	493	589	606	331	396	407	1 043	1 247	1 282
Yhteensä	6 648	7 952	8 169	4 204	5 028	5 166	13 246	15 844	16 277

Kuvion 4 mukaan viiden ja viidentoista talouden pellettijärjestelmien, PEL 5 ja PEL 15, energiahinnat nousevat eniten 20 vuoden aikana. Taulukon 4 mukaan HAKE 1 -järjestelmän 20 vuoden energiakustannukset ovat vertailun pienimmät, 4204 euroa. Hakkeen energiahinnan on laskettu nousevan noin 71 % laskenta-aikana. Suurimmat energiakustannukset taloutta kohden ovat PEL 15 -järjestelmällä. Kuviossa 4 kaikkien kolmen pellettijärjestelmän, PEL 1, PEL 5 ja PEL 15 energiakustannukset ovat kalleimmat, maalämpöjärjestelmät, MLP 1, MLP 5 ja MLP 15 sijoittuvat keskelle ja hakejärjestelmien, HAKE 1, HAKE 5 ja HAKE 15 energiakustannukset pienimmiksi.



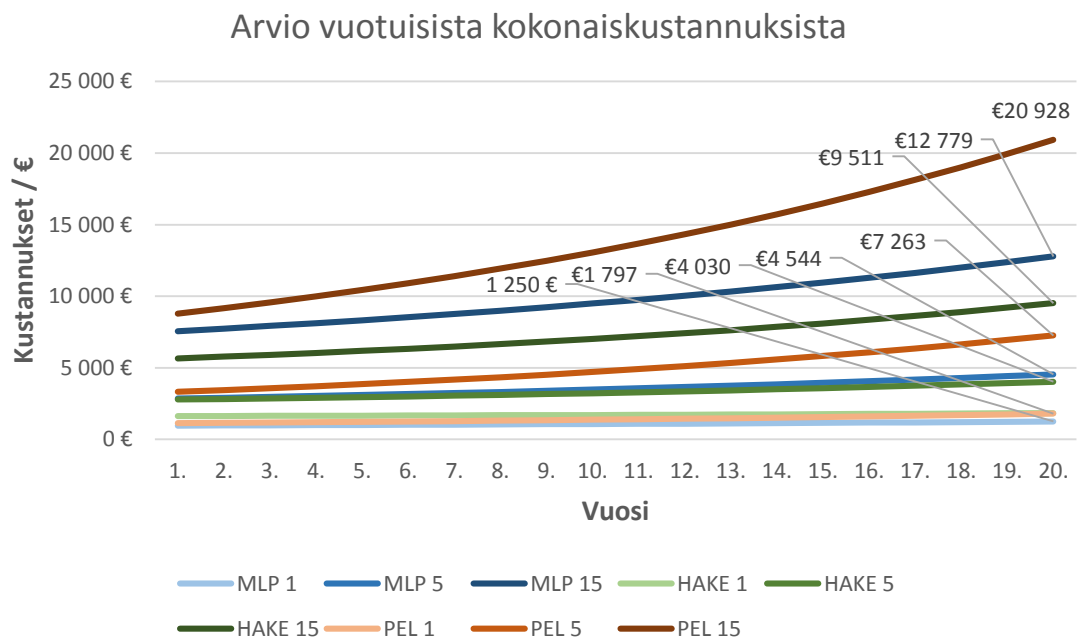
KUVIO 4. Yhden, viiden ja viidentoista talon maalämpö- (MLP), hake- (HAKE) ja pellettilämmitysjärjestelmien arvioidut vuosittaiset energiakustannukset taloutta kohti 20 vuoden ajanjaksolla

Järjestelmien kokonaiskustannuksien vertailussa on laskettu laiteinvestoinneille vuotuiset tasaerät (annuiteetit). Tasaerän suuruus on laskettu kullekin järjestelmälle liitteessä 3 tasaerän lyhennyksen kaavalla:

$$A = Kq^n \frac{1-q}{1-q^n} \quad (1)$$

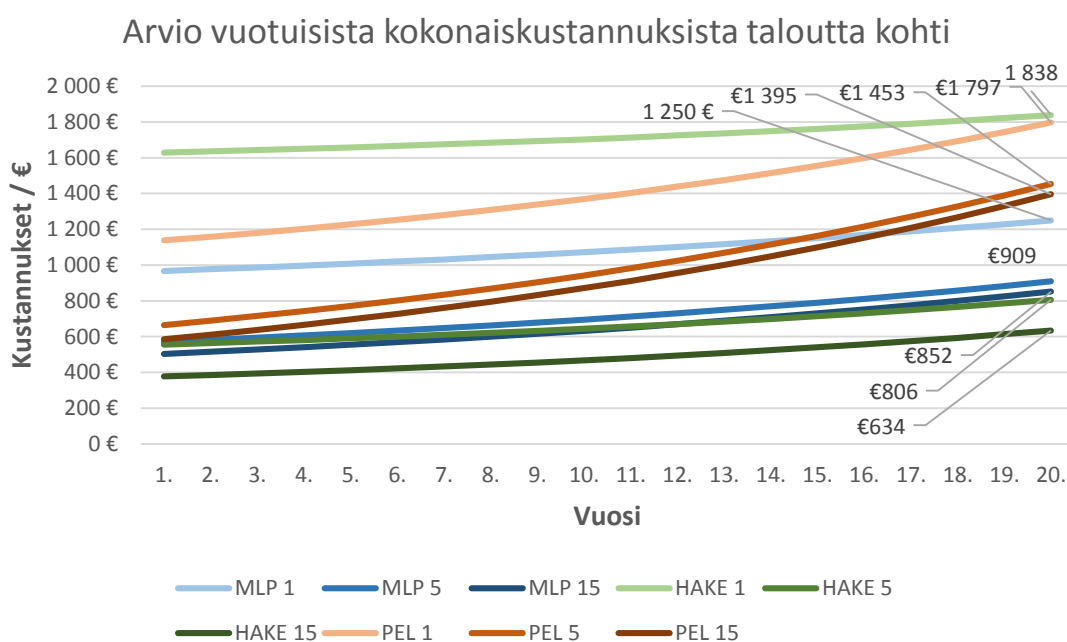
jossa A on tasaerä eli annuiteetti, K on investoinnin suuruus, n on maksettavien tasaerien lukumäärä eli vuosien määrä ja q on korkokerroin, jolla kertomalla pääomaan lisätään kertyvä korko Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2009).

Vuosittaisia kokonaiskustannuksia vertailtaessa voidaan tarkastella joko vuotuisia kokonaiskustannuksia, kuvio 5, tai vuotuisia kokonaiskustannuksia taloutta kohden, kuvio 6. Vuotuiset kustannukset sisältävät järjestelmän investoinnista ja sen korosta, sekä energia-kustannuksista energiahinnan nousun kanssa koostuvat kustannukset. Vuotuisia kokonaiskustannuksia vertailtaessa kuvion 5 mukaan 15 talon yhteisen pellettilämmitysjärjestelmän PEL 15 kustannukset ovat kalleimmat ensimmäisenä vuotena, 8782 euroa. Korkeiden kasvattamana kokonaiskustannukset nousevat laskenta-ajan lopulla 20 928 euroon. Talokohtaisen maalämpöjärjestelmän MLP 1 vuotuiset kokonaiskustannukset ovat samassa vertailussa edullisimmat ensimmäisen vuoden kokonaiskustannusten ollessa 967 euroa ja 20. vuoden 1250 euroa.



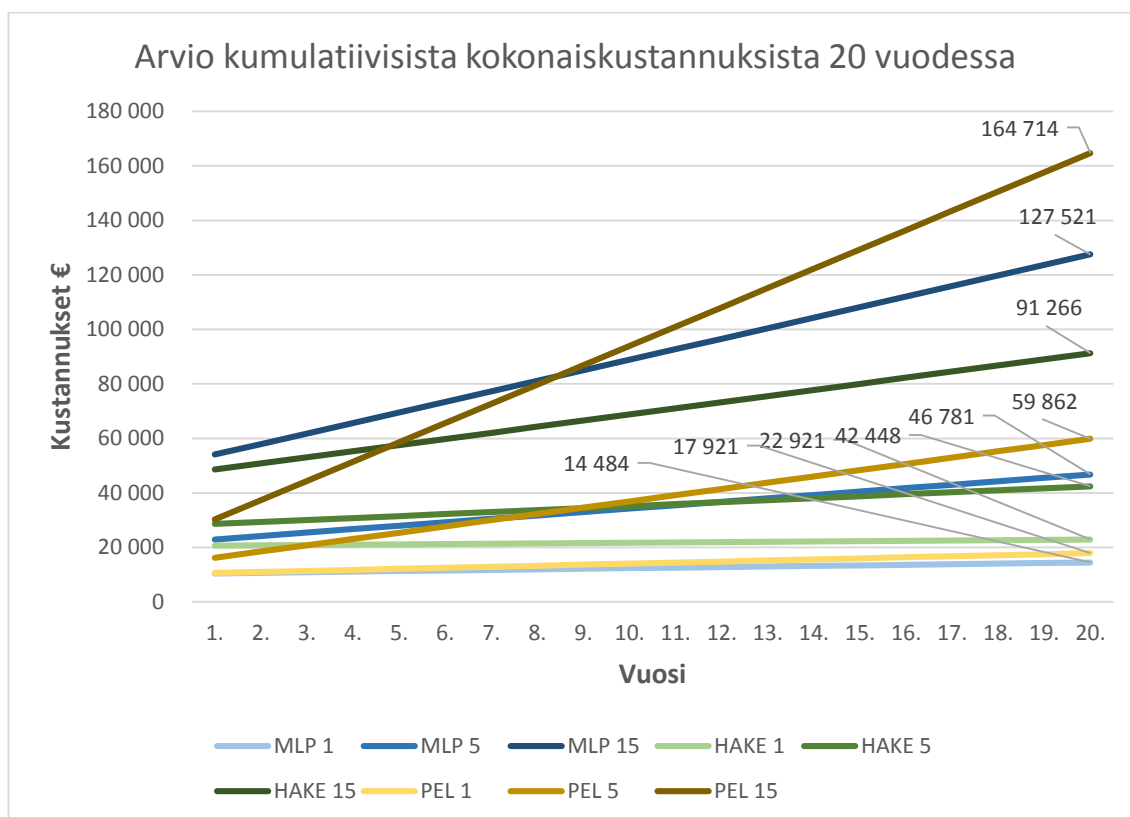
KUVIO 5. Viivakaavio vuotuisista kokonaiskustannuksista, joihin kuuluu investoinnin tasaerän lisäksi energiankustannukset hintakehityksineen 20 vuoden ajanjaksolla. Vertailussa mukana yhden, viiden ja viidentoista maalämpö- (MLP), hake- (HAKE) ja pelletti-järjestelmät (PEL)

Kuitenkin tarkasteltaessa vuotuisia kokonaiskustannuksia yhtä taloutta kohden, kalleimmaksi järjestelmäksi osoittautuu kuvion 6 mukaan yhden talon hakelämmitysjärjestelmä HAKE 1 ensimmäisen vuoden kustannusten ollessa 1629 euroa ja 20. vuoden 1838 euroa. Edullisimmaksi ratkaisuksi vertailussa osoittautuu 15 talon hakelämmitysjärjestelmä HAKE 15 ensimmäisen vuoden kustannusten ollessa taloutta kohti 377 euroa ja 20. vuoden 634 euroa. Kustannusten jakautumisella useammalle taloudelle pystytään varmistamaan kustannusten edullisuus yllättävien huolto- tai varaosakulujen ilmetessä, joita tässä työssä ei ole otettu huomioon.



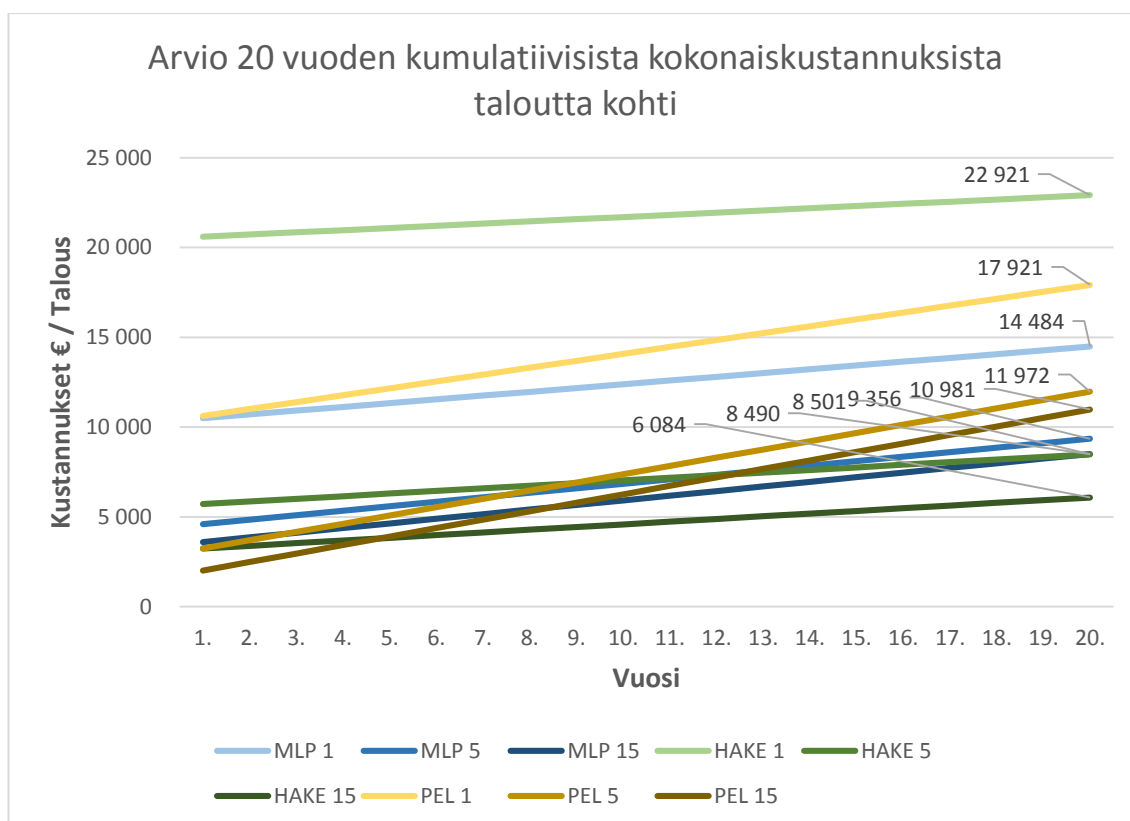
KUVIO 6. Viivakaavio yhden, viiden ja viidentoista maalämpö- (MLP), hake- (HAKE) ja pellettijärjestelmien (PEL) vuotuisista kokonaiskustannuksista taloutta kohti, joihin sisältyy investoinnin tasaerän lisäksi energiakustannukset hintakehityksineen 20 vuoden ajanjaksolla

Kuvioissa 7 ja 8 on esitelty vertailussa olleiden lämmitysjärjestelmien kumulatiiviset kokonaiskustannukset ja kumulatiiviset kokonaiskustannukset taloutta kohden. Kumulatiiviset kokonaiskustannukset sisältävät ainoastaan investoinnin kustannukset ilman korkoa ja vuotuiset energiakustannukset ilman energianhinnan nousua. Vertailussa kuvion 7 mukaan kumulatiivisilta kokonaiskustannuksiltaan viidentoista talouden pellettilämmitysjärjestelmä PEL 15 on vertailussa olleista esimerkilämmitysjärjestelmistä kallein laskenta-ajan lopussa, 164 714 euroa. Samaisen kuvion 7 mukaan kokonaiskustannuksiltaan halvin järjestelmää edustaa yhden talouden maalämpöjärjestelmä MLP 1, 14 484 euroa.



KUVIO 7. Yhden, viiden ja viidentoista maalämpö- (MLP), hake- (HAKE) ja pellettijärjestelmien (PEL) kumulatiiviset kokonaiskustannukset, ilman investointikorkoa ja energiahinnan nousua 20 vuoden ajanjaksolla

Toisaalta tarkasteltaessa yksittäiselle taloudelle koituvia kumulatiivisia kustannuksia eri lämmitysjärjestelmistä, kuviossa 8 käy ilmi, että yhden talouden hakelämmitysjärjestelmän HAKE 1 kustannukset ovat korkeimmat laskenta-ajan lopussa, 22 921 euroa. Pienimmät kustannukset 20 vuoden ajanjaksolla kohdistuvat taloutta kohden 15 talon hakelämmitysjärjestelmästä HAKE 15. Syynä tähän on alkuinvestointien ja energiakustannusten jakautuminen huomattavasti useammalle taloudelle. Vaikka tässä opinnäytetyössä tehdyt laskelmat ovat suuntaa-antavia, eikä niiden perusteella voida suunnitella tai mitoitaa tarkkaa talokohtaista järjestelmää, on syytä huomioda se, että useamman talouden järjestelmässä yllättävien huoltojen tai osan vaihtojen kustannukset myös jakautuvat useammalle taloudelle tehden ylimääräisistä menoeristä halvempia.



KUVIO 8. Yhden, viiden ja viidentoista maalämpö- (MLP), hake- (HAKE) ja pellettijärjestelmien 20 vuoden kumulatiiviset kustannukset taloutta kohti

5.5 Päästöjen vertailu

Lämmitysjärjestelmien ympäristövaikutusten vertailussa hiilidioksidipäästöt antavat yleisesti kattavan käsityksen energiamuotojen sekä lämmitysjärjestelmien ilmastoon ja ympäristöön vaikuttavista tekijöistä. Taulukossa 5 ja pylväsdiagrammissa kuviossa 9 esitetyt arviot 20 vuoden aikana tuotetuista hiilidioksidipäästöistä on laskettu kuvion 1 tietojen pohjalta liitteen 5 taulukoihin.

Päästöiltään maalämpö on vähähiilinen vaihtoehto verrattuna perinteisten lämmitysmuotojen kuten öljyn ja suoran sähkölämmityksen kanssa, sillä maalämpöjärjestelmien osatehomitoitettut järjestelmät vaativat sähköä huipputehopiikkien tuottamiseen (Motiva Oy 2012). Karkeasti arvioiden maalämpöjärjestelmän päästöt ovat noin kolmannes suorasähkölämmitykseen verrattuna. Tämä johtuu siitä, että keskimäärin kolmannes lämmitysenergiasta tuotetaan sähköän avulla (Robert Bosch Oy 2016). Yhden kilowattitunnin tuottaminen suorasähkölämmitysjärjestelmällä tuottaa keskimäärin 400 grammaa CO₂-päästöjä, eli noin 400 kg/MWh. Päästömääriin vaikuttaa sähköntuotannon lähde (Senera Oy

2012). Kuvion 1 tietojen mukaisen matalaenergiatalon energiantarve lämmitettävää neliometriä kohden on noin 60 kWh. Opinnäytetyössä käytettyjen Aurinkorinteen alueen esimerkkikohteiden tietoja hyödyntäen laskujen mukaisen pinta-alaltaan noin 180 m² talon vuotuinen energiantarve on arviolta 10 800 kWh. Mikäli kyseinen energiantarve tuotetaan maalämpöjärjestelmällä, jossa kolmannes lämmityksestä on tuotettu sähkövastuksien avulla, ovat päästöt yhteensä vuodessa:

$$\frac{0,4 \frac{kg CO_2}{kWh}}{3} \times 60 \frac{kWh}{m^2} \times 180 m^2 \cong 1440 \frac{kg CO_2}{vuosi}$$

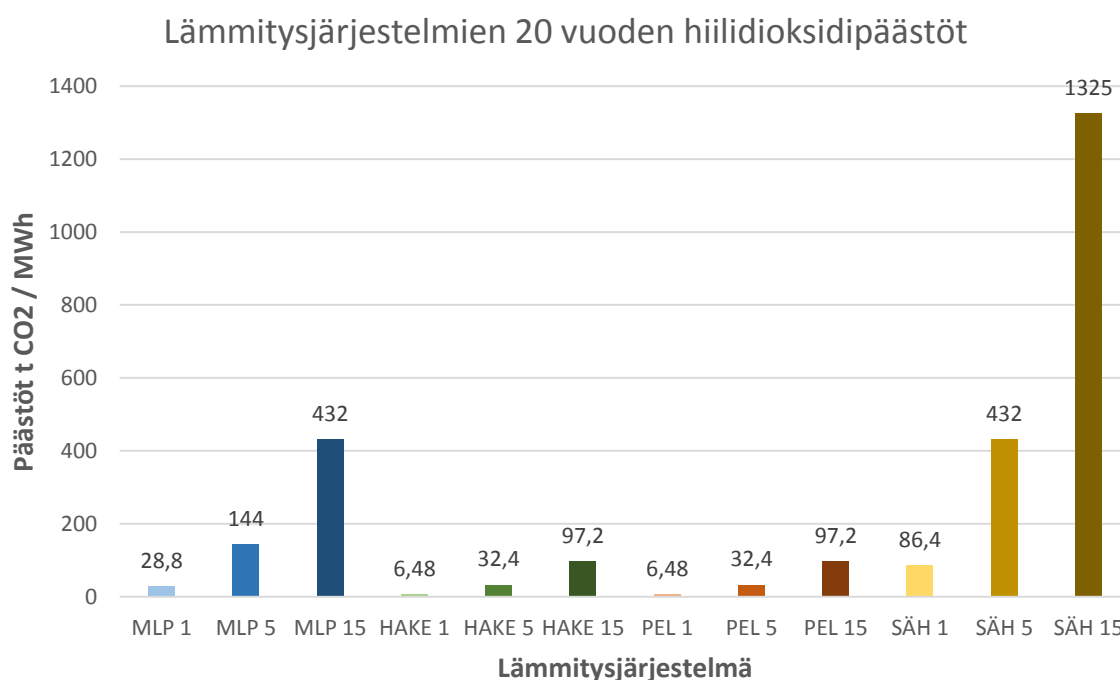
Pelletti on erittäin vähäpäästöinen polttoaine. Lämmitysprosessin tehokkuuden ansiosta pienhiukkaspäästöt ovat pienet. Pellettien ympäristövaikutukset ovat vähäisiä, koska niiden valmistus ja kuljetus on energiatehokasta. Energianlähteenä pelletti mielletään hiilidioksidineutraaliksi, sillä pellettiä, haketta tai muuta biomassatuotetta polttaessa vapautuva CO₂:n määrä on suoraan verrannollinen puun ennen käyttöönottoa itseensä sitouttamaan CO₂:n määrään. Pellettilämmittäminen ei siis lisää hiilidioksidin määrää ilmakehässä (Bioenergia Ry 2016).

TAULUKKO 5. Yhden, viiden ja viidentoista talon maalämpö- (MLP), hake- (HAKE), pelletti- (PEL) ja suorasähkölämmitysjärjestelmien (SÄH) hiilidioksidipäästöt 20 vuoden laskenta-aikana

Lämmitysjärjestelmä	kg CO ₂ / kWh	kg CO ₂ / 20 vuodessa	t CO ₂ / 20 vuodessa
MLP 1	0,13	28 800	29
MLP 5	0,66	144 000	144
MLP 15	2,00	432 000	432
HAKE 1	0,03	6 480	6
HAKE 5	0,15	32 400	32
HAKE 15	0,45	97 200	97
PEL 1	0,03	6 480	6
PEL 5	0,15	32 400	32
PEL 15	0,45	97 200	97
SÄH 1	0,40	86 400	86
SÄH 5	2,00	432 000	432
SÄH 15	6,00	1 315 000	1 315

Bioenergia Ry:n (2016) tietojen mukaan pellettilämmityksen kokonaishiilidioksiditase vaihtelee 19–70 kg /MWh välillä, mutta pohjoismaissa relevanttina keskiarvona on pidetty 30 kg/MWh. Kokonaishiilidioksiditase sisältää kuljetuksen sekä tuotannon päästöt.

Puuhakkeen tapauksessa käytetään samoja yleisesti päteviä biomassalle annettuja arvoja kuten pelletille (Bioenergiapörssi 2016b). Kuviossa 9 on esitetty pylväsdiagrammimuodossa yhdeksän vertailussa olleen järjestelmän lisäksi suorasähkölämmitysjärjestelmän kokonaishiilidioksidipäästöt vuoden ajalta. 15 talouden maalämpöjärjestelmä tuottaa arviolta 432 000 kiloa eli 423 tonnia hiilidioksidia 20 vuoden aikana. Määrä on suuri muihin vertailussa olleiden järjestelmiin verrattuna, mutta määrä on vain noin kolmannes verrattuna suorasähkölämmitysjärjestelmän hiilidioksidipäästöihin.



KUVIO 9. Yhden, viiden ja viidentoista talon maalämpö- (MLP) hake- (HAKE) ja pellettijärjestelmien (PEL) 20 vuoden hiilidioksidipäästöt. Suorasähkölämmitys (SÄH) on otettu vertailuun mukaan.

Hake ja pellettijärjestelmien ympäristöystävällisyydestä sekä vähäpäästöisyydestä kertoo se, että yhden suorasähkölämmitysjärjestelmällä lämmitettävän matalaenergiatalon hiilidioksidipäästöjen ollessa 20 vuoden aikana 86,4 tonnia, ovat viidentoista hakkeella tai pelletillä lämpiävän järjestelmäkokoisuuden kokonaishiilidioksidipäästöt 97,2 tonnia. Kun kyseinen määrä jaetaan 15 taloudelle, lämmityksestä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat noin 6,48 tonnia 20 vuodessa taloutta kohden.

6 AURINKOENERGIA LISÄLÄMMÖNLÄHTEENÄ

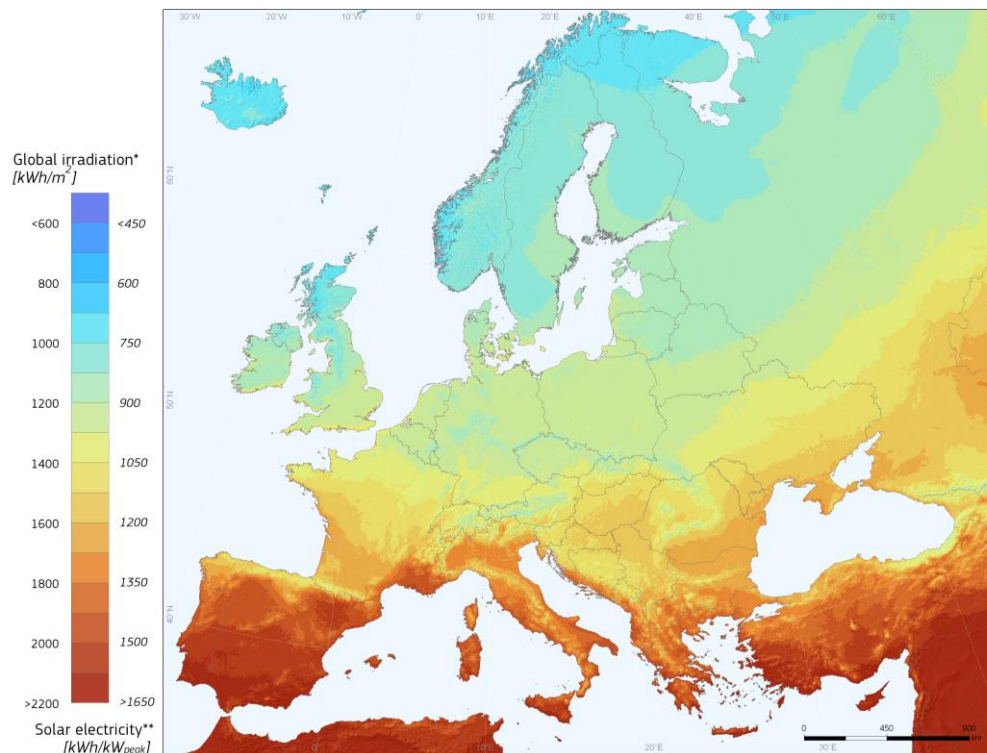
Tässä kappaleessa esitellään aurinkoenergia sekä sen potentiaali päälämmitysjärjestelmän lisänä. Aurinkoenergiasta ei ole tehty vertailuun kustannus-, päästö tai käyttölaskelmia.

6.1 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on auringosta purkautunutta säteilyä, joka voidaan havaita näkyvänä valona ja lämpönä. Säteily koostuu haja- ja suorasäteilystä. Hajasäteily on ilmakehässä partikkeleiden ja molekyylien sirottamaa valoa, jonka osuus vuosittaisesta kokonaissäteilystä on noin 40 %. (GreenEnergy Finland Oy 2014.) Kuvan 14 mukaan Etelä-Suomessa aurinkoenergiapotentiaali vuodessa on noin 1000 kilowattituntia neliometriä kohden. Vuosittaisesta kokonaissäteilystä 92 % paistaa maaliskokuun aikana, mutta 52 % kokonaissäteilystä saadaan jo touko-heinäkuun aikana. Aurinkopaneeleilla pystytään muuttamaan säteilyä sähköenergiaksi noin 17–18 %, mutta aurinkokeräimillä tuotettavan lämpöenergian hyötysuhde on peräti 25–35 %. (GreenEnergy Finland Oy 2014; Motiva 2016a.)

6.2 Aurinkolämpö

Auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää joko passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivisella valon ja lämmön hyödyntämisellä tarkoitetaan sitä, ettei auringon paistaessa tarvitse käyttää keinovalaistusta eikä lisälämmitystä. Aktiivisessa valon ja lämmön hyödyntämisessä säteilyenergiaa kerätään joko PV-aurinkopaneeleilla tai aurinkokeräimillä. Aurinkopaneelien avulla säteilyenergia muutetaan sähköksi ja aurinkokeräimillä säteilyenergialla tuotetaan lämpöä, joka johdetaan talon eri lämmitystarpeisiin. Kumpikaan tekniikka ei sulje pois toista. (Motiva 2016a.)



KUVA 14. Auringon säteily määrä eri puolilla Eurooppaa optimaalisesti suunnattujen aurinkoenergiajärjestelmien pinnoille (Euroopan komission energia-alan tutkimuslaitos 2012)

Aurinkokeräinjärjestelmä on mahdollista yhdistää käytännössä minkä tahansa päälämmitysmuodon rinnalle. Yleisimmät aurinkolämpöratkaisut ovat taso- ja kuvan 15 kaltaiset tyhjiöputkikeräimet. Suositeltavinta on yhdistää aurinkolämmitys järjestelmä lämpöpumppujärjestelmään tai sellaiseen kokonaisuuteen, jossa on vesivaraaja. Esimerkiksi sähkölämmitteisessä talossa aurinkoenergialla voidaan lämmittää noin puolet käyttöveden vaatimasta energiasta tai kytkemällä keräimet talon lämminvesivaraajaan lämmittämään huoneita vesikiertoisen lattialämmityksen tai patterijärjestelmän avulla. On myös kehitetty öljykattiloita, jotka soveltuvat öljy- ja aurinkolämmön yhdistämiseksi. (Motiva 2016a.)



KUVA 15. Tyhjiöputkikeräin (Pixabay 2014b)

Aurinkolämpö tarkoittaa auringon säteilyn muuttamista hyödynnettävissä olevaksi lämmöksi taso- tai tyhjiökeräimillä. Kiertovesipumpulla kierrätetään jäätymätöntä vesi-glykoli -lämmönsiirtoliuosta järjestelmässä, joka lämpiää suorasta auringonsäteilyyn kontaktista. Lämmönsiirtoliuoksen sitoma lämpö siirretään lämmönvaihtimen avulla lämmivesivaraajaan. (Robert Bosch Oy 2016; Motiva 2016b.)

Tampereen ammattikorkeakoulun lehtorin Kari Kallioharjun (2015) mukaan Suomessa aurinkolämpöjärjestelmien hyötysuhde vaihtelee 20–50 % välillä. Tästä johtuen vuotuisen lämpöenergiapotentiaali on 200–500 kWh/m². Alhaisen hyötysuhteen takia aurinkokeräimiä ei voi suositella käytettäväksi päälämmitysratkaisuna tilalämmitykseen. Kallioharju (2015) ehdottaa aurinkokeräinjärjestelmiä käytettäväksi käyttöveden lämmittämiseen, sillä Suomen olosuhteissa noin puolet korkeimmillaan 60 °C asteisesta käyttövedestä voidaan tuottaa aurinkokeräimillä. Tämä tarkoittaisi arviolta 10 % talon vuotuisesta kokonaislämmitystarpeesta. Aurinkokeräinjärjestelmän kapasiteetti mitoitetaan talon käyttöveden kulutuksen mukaan. Yleinen nyrkkisääntö on, että yksi ihminen kuluttaa vuodessa lämmintä käyttövettä 1000 kWh edestä (Motiva Oy 2015c). Aurinkorinteen esimerkkikortteiden 772–7728 kohteissa on oletettu asuvan 4 henkilöä per talous. Tämä tarkoittaisi yhdessä taloudessa keskiarvallisesti 4000 kWh energiamäärää lämpimän käyttöveden tuottamiseen vuodessa, käyttötottumuksista riippuen. Aurinkokeräimillä tästä määrästä 2000 kWh:n osuuden tuottaminen veden lämmitykseen vaatisi vähintään Kallioharjun arvioiden (2015) mukaan 4 m² aurinkokeräimen aktiivista pinta-alaa.

6.3 Aurinkolämmön kannattavuus

Finsolar -hankkeen verkkosivuille on koottu aurinkokeräinjärjestelmäkustannustaulukko aurinkolämpöjärjestelmien hintatasoista ja kannattavuudesta. Dipolmi-insinööri Karoliina Auvisen mukaan laitteiston ja asennuksen hankintahinta vaihtelee järjestelmän koosta riippuen. Pienien 4–20 m² -järjestelmien kustannukset ovat noin 500–1000 €/keräin-m², joista ylläpitokuluja kertyy 30 vuoden aikana 10 % alkuinvestoinnin hinnasta, eli 50–100 €/keräin-m². Keskikokoisissa, 20–100 keräin-m² -järjestelmissä aloituskustannukset vaihtelevat 500–750 €/m² ja ylläpitokulut ovat 8 %, 40–60 €/keräin-m². (Auvinen 2015.)

Auvisen (2015) mukaan hintayhteenvedot ovat arvioita tyypillisistä asennuskohteista, joissa asennus rakennuksen katolle tapahtuu helposti lähelle vesivaraajaa. Mikäli uudiskohteissa halutaan aurinkokeräimelle hankkia erillinen lämminvesivaraaja, tulee lisäkustannusten hinnaksi arviolta 1500–2000€ asennuksineen (Auvinen 2015).

Yli puolet aurinkosäteilystä ajoittuu maalīs–elokuulle, kuten luvussa 6.1 on todettu. Matalaenergiatalon lämmitystarve on kesäaikana niukimmillaan, joten aurinkolämpöjärjestelmien isoimmaksi rajoitteeksi ei koidu keräimien hyötysuhteen alhaisuus vaan se, että lämpöenergian tuotto ja tarve eivät tapahdu samaan aikaan vuodesta. Ojaniemen & Penttisen (2009) mukaan talviaikana, tilojen lämmitystarpeen ollessa korkeimmillaan, aurinkokeräimiä ei voida käyttää vähäisen auringonpaisteen vuoksi. Siksi kevät ja kesäkuukausina käytetty käyttöveden lämmitys on hyödynnettävä mahdollisimman tehokkaasti.

Aurinkokeräinten lämmityspotentiaali saadaan parhaiten käyttöön matalaenergiakohteissa, joiden vesikiertoiset lattialämmitysratkaisut eivät edellytä korkeita lämpötiloja. Hybridijärjestelmässä, jossa maalämpöpumppu on yhdistetty aurinkokeräimiin, voitaisiin aurinkokeräimillä tuotettu lämpöenergia johtaa porakaivoihin. Lämmittämällä porakaivoja kesäkuukausien ajan auringosta saatavalla energialla voitaisiin tuottaa pienessä mittakaavassa geotermistä lämpöä. Tällainen järjestelmä vaatii testausta sekä sopivan pilotointikohteen. Aurinkorinteen alueella on mahdollista toteuttaa tämän kaltaisia pilottihankkeita, joissa toteutettaisiin esimerkiksi alueellinen usean talon maalämpöjärjestelmä. Lisäksi talokohtaisilla aurinkokeräimillä tai kollektiivisella aurinkokeräinentällä tehostettaisiin maalämpöjärjestelmän energiantuottoa.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Aurinkorinteen alueelle on asetettu omat energia- ja resurssitehokkuustavoitteet niin tiukentuvien rakennusmääräysten kuin Tampereen kaupungin eri hankkeiden vuoksi. Alueelle toivotaan uudenlaisia ratkaisuja sekä pilotointityypistä uudisrakentamista. Vaikka kaupungin laatimat ohjeistukset kannustavatkin pohtimaan energiatehokkuutta talokoh-
taisesti lämmitysratkaisut etupäässä, on alueella hyvät lähtökohdat lähteä kokeilemaan jopa alueellisen mittakaavan energiaratkaisuja.

Opinnäytetyön lämmitysjärjestelmävertailussa oli kolme eri energiamuotoa, joista jokai-
selle oli valittu yksi lämmitysjärjestelmätyyppi kolmessa eri kokoluokassa: maalämpöjär-
jestelmä porakaivolla, hakepuu- ja pellettilämmitys stokeripoltintekniikalla olivat vertai-
lussa mukana helposti saatavien hinta- ja järjestelmätietojen takia. Vertailussa tarkastel-
tiin kyseisten lämmitysjärjestelmien hintakustannuksia, käyttöä ja ympäristölle kohdistu-
via päästöjä. Työn aikana tehdyt laskelmat ovat suuntaa antavia, koska esimerkkialueen
kohdetiedot ovat olettamuksia.

Aurinkorinteen erillispientalokorttelien 7727 ja 7728 esimerkkikohteille tehdyssä kustan-
nusvertailussa 15 talouden yhteinen hakelämmitysjärjestelmä HAKE 15 osoittautui yh-
deksästä järjestelmästä edullisimmaksi taloutta kohden 20 vuoden ajanjaksolla. Kysei-
sellä lämmitysmuodolla kumulatiiviset kokonaiskustannukset taloutta kohden olivat 6084
euroa 20 vuoden aikana. Yhden talouden hakejärjestelmä HAKE 1 oli samassa vertailussa
kallein, 22 921 euroa. HAKE 15 -järjestelmä oli myös vuotuisissa kokonaiskustannuk-
sissa taloutta kohden halvin: ensimmäisen vuoden kustannukset olivat 377 euroa ja ener-
giahinnan noustessa sekä investoinnin aiheuttaman koron takia vuotuiset kustannukset
nousivat laskenta-ajan lopussa 634 euroon. Kalleimman järjestelmän, HAKE 1, ensim-
mäisen vuoden kustannukset olivat 1629 euroa ja 20. vuoden 1838 euroa. Lopputulos ei
sinällään ollut poikkeava oletuksesta, sillä luvun 5.3 mukaan yhdelle taloudelle hakeläm-
mitysjärjestelmät ovat liian järeitä, jolloin helposti käy niin, että käyttäjä maksaa ylimi-
toitetusta järjestelmästä.

Päästövertailussa hake- ja pellettijärjestelmillä oli samat päästöarviot laskenta-ajalle,
koska biomassapohjaiset polttoaineet on luokiteltu hiilineutraaleiksi. Hiilidioksidipäästöt

oli laskettu vertailussa hakkeen ja pelletin kokonaishiilidioksiditaseen mukaan. Lämmitysjärjestelmien päästöt oli laskettu ensin yhden talouden maalämpö-, hake- ja pellettijärjestelmille, jonka jälkeen vastaavien järjestelmien viiden ja viidentoista talon järjestelmille lasketut arviot saatiin kertomalla talon määrällä järjestelmää kohden. Hiilidioksidipäästöarviot ovat suuntaa-antavia, mutta niiden perusteella HAKE 15- ja PEL 15 -järjestelmien päästöt olivat 97 200 kg CO₂ laskenta-aikana.

TAULUKKO 6. Yhteenvetotaulukko lämmitysmuotojen eduista ja haitoista, joita opinäytetyön aikana nousi esille

	EDUT	HAITAT
MAALÄMPÖ	<ul style="list-style-type: none"> • Edulliset energiakustannukset • Ei vaadi käyttäjältä toimenpiteitä • Järjestelmän asentamisesta saa kotitalousvähennystä • Porakaivoja voidaan hyödyntää lämmöntuoton lisäksi talon viilennyksessä 	<ul style="list-style-type: none"> • Kallis alkuinvestointi • Käyttää sähköä lämmitys- piikkien tuottamiseen- energiakustannukset si- doksissa sähkönhintaan
HAKE	<ul style="list-style-type: none"> • Vertailun halvin polttoaine • Kotimainen raaka-aine • Helposti hankittavissa - metsäteollisuuden prosessien sivutuote • Järjestelmän muuntokyky - useamman polttoaineen käyttömahdollisuus • Vähäpäästöinen 	<ul style="list-style-type: none"> • Liian järeä yksittäiselle matalaenergiatalolle • Vaatii käyttäjältä vaivan- näköä huolto- ja puhdistustoimenpiteisiin • Tuottaa kolminkertaisen määrän tuhkaa pellettiin verrattuna
PELLETTI	<ul style="list-style-type: none"> • Vähäpäästöinen • Kotimainen raaka-aine • Tiiviisti puristettua polttoainetta - hyvä lämpöarvo • Vaatii vähän säilytystilaa 	<ul style="list-style-type: none"> • Kattilakivi pitää poistaa • Tuottaa tuhkaa noin 10 kg / 500 kg säkki • Nuohous • Automaatiikka lisää kustannuksia • Oma varasto tai siilo varastointia varten

Hake- ja pellettilämmitysjärjestelmät vaativat käyttäjältä ylläpidollisia toimenpiteitä. Esimerkiksi 15 talouden yhteisessä järjestelmässä vähintään yhden asukkaan tulisi hallita järjestelmän ylläpito. Tämän kaltainen vastuu sitoo ylläpidosta vastaavaa asukasta järjestelmään sekä asuinalueeseen muihin asukkaisiin verrattuna. Järjestelmästä vastaavan asukkaan muuttaessa pois jäisi järjestelmä ilman vastuullista henkilöä ellei löydy uutta vapaaehtoista asukasta ottamaan vastuuta järjestelmästä. Taulukosta 6 tehtäviin johtopäätöksiin perustuen hake- ja pellettienergialähteet vaativat ulkoisen lämpöyrittäjän, joka suunnittelee, toteuttaa, käyttää, ylläpitää ja huoltaa järjestelmää. Tämän kaltainen toimintamalli on ollut käytössä Suomessa, mutta ei ole yleistynyt kannattavuuden takia. Korttelikokoluokan järjestelmän tai useamman vastaavanlaisen ylläpidollisissa tehtävissä saattaisi olla lämpöyrittäjän kannalta kannattava palvelumalli, joka toisaalta vapauttaisi lämmitettävien talojen asukkaat laitteistoon perehtymisestä, ylläpidollisista ja huoltotoimenpiteistä. Lämpöyrittäjän toimiessa ikään kuin lämpöalonmiehenä, voitaisiin järjestelmän automaatiikkaa ja seuranta viedä lämmitettäviin taloihin antaen lämpöyrittäjälle todemmukaisempaa tietoa reaaliajassa kohteista antaen nopeamman reagointiajan tilanteen vaatiessa.

Opinnäytetyössä tehdyt vertailut osoittivat, että korttelikokoluokan lämmitysratkaisut olivat halvemmat kuin talokohtaiset ratkaisut. Hiilidioksidipäästöt olivat samat järjestelmän koosta riippumatta, mutta energialähteiden kesken maalämpö tuotti enemmän hiilidioksidipäästöjä laskenta-aikana kuin hake- ja pellettienergia. Käytön kannalta maalämpöjärjestelmät olivat lähtökohtaisesti enemmän automatisoituja ja vaativat vähemmän käyttäjältä kuin hake- ja pellettijärjestelmät. Tämän opinnäytetyön tulosten perusteella Aurinkorinteen erillispientalokortteleille 7727–7728 ehdotetaan kaikkien 15 talon kattavaa hakelämmitysjärjestelmää kokonaiskustannusten ollessa halvimmat sekä hiilidioksidipäästöjen ollessa vähäiset. Mikäli hakejärjestelmän vaatimat ylläpidolliset toimenpiteet eivät ole toivottavia, on 15 talon yhteinen maalämpöjärjestelmä paras vaihtoehto vuotuisten kokonaiskustannusten ollessa edulliset taloutta kohti sekä hiilidioksidipäästöjen ollessa vähäisemmät kuin talokohtaisten maalämpöjärjestelmien yhteensä. Tämän lisäksi opinnäytetyössä ehdotetaan jatkotutkimusaiheeksi lämpöyrittäjäpohjaista palvelua, jossa lämpöyrittäjä toimittaa lämmitysratkaisun, hankkii polttoaineen sekä tuottaa ylläpitopalvelua hakelämmitysjärjestelmän tarpeisiin.

Lähdeluettelo

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia.

VTT- tiedotteita. s. 172. Luettu 2.3.2016:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>

Arkkitehtuuritoimisto B&M Oy. 2015. Asemakaavan 8349 havainnekuva. Isokuusi II, Isokuusen itäinen alue, Aurinkorinne. Tampereen kaupunki.

Auvinen, K. 2015. Aurinkolämpöjärjestelmien hinta-tasot ja kannattavuus. Noudettu 15.2.2016 osoitteesta: Finsolar-hanke:

http://www.finsolar.net/?page_id=1398#_ftnref3

Bioenergia ry. 2015. Energian hintakehitys 2002-2015 pienkiinteistöissä snt/kWh (sis.alv). Noudettu 14.4.2016 osoitteesta Pelletin hinta- ja tilastotietoja:

<http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20hinta-%20ja%20tilastotietoja>

Bioenergia Ry. 2016. Pellettilämmitys on merkittävä ympäristöteko. Noudettu 14.4.2016 osoitteesta Ympäristö:

<http://www.pellettienergia.fi/Ymp%C3%A4rist%C3%B6>

Bioenergiaporssi. 2016a. Lämmityslaskuri. Noudettu 14.4.2016 osoitteesta Bioenergiatietoa:

<http://www.bioenergiaporssi.fi/k%C3%A4sitteet-ja-laskurit/1%C3%A4mmityslaskuri>

Bioenergiaporssi. 2016b. Puu polttoaineena. Noudettu 15.4.2016 osoitteesta Bioenergiatietoa:

<http://www.bioenergiaporssi.fi/k%C3%A4sitteet-ja-laskurit/puu-polttoaineena>

Bio-Expert Oy. 2015. Hakelämmitys. Noudettu 14.4.2016 osoitteesta

<http://lammitysjarjestelmat.com/hakelammitys/>

Energiatehokas koti -hanke. 2016. Määritelmiä ja termejä. Noudettu 3.2.2016 osoitteesta Energiatehokaskoti:
http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/maaritelmi_a_ja_termeja

Euroopan komission energia-alan tutkimuslaitos. 2012. Photovoltaic Geographical Information System. Noudettu 5.5.2016 osoitteesta Institute for Energy and Transport:
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>

GreenEnergy Finland Oy. 2014. Loppuraportti: Isokuusi II:n aurinkosähköjärjestelmän asemakaavavaiheen konsultointi. Tampere: GreenEnergy Finland Oy.

Harju, P. 2002. Lämmitystekniikan oppikirja. Oppilaan kirja. Penan Tieto-Opus Ky, 70.

Helsingin kaupunki: Rakennusvalvontavirasto. 2015. Aurinkokeräimen, ilmalämpöpumpun ja jäähdytyslaitteen ulkoyksikön asentaminen. Helsinki, 1–3. Noudettu 25.4.2016 osoitteesta:
http://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/Ilmalampopumpun_ja_jaahdytyslaitteen_asennus.pdf

Kallioharju, K. 2015. Basics of Solar Heat and Solar Heat in Domestic Buildings. Energy Management-kurssimateriaali, Aurinkolämpökeräimet-esitys. Tampere.

Knuuttila, K. 2003. Puuenergia. . Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 95.

Kuitto, P.-J. 2004. Metsästä polttoaineeksi. Polttohakkeen tuotannon puoli vuosisataa. Jyväskylä: Suomen Bioenergiayhdistys FINBIO, 298.

Kulmala, E. 2015. Heat pumps. Luentomateriaali Energy Management- kurssin luentosarjasta. Tampere. Noudettu 7.4.2016 osoitteesta Ratkaisut:
<http://callidus.fi/fi/lammitys/ratkaisut/maalampo>

Lappalainen, I. 2007. Puupolttoaineiden pienkäyttö. Helsinki: TEKES, 11. Noudettu 15.4.2016 osoitteesta <http://www.tekes.fi/Julkaisut/puupolttoaineet.pdf>

Lämpö Ykkönen. 2016. Maalämpöpumpun hinta asennettuna. Noudettu 17.4.2016 osoitteesta:

Lämpöykkönen: <http://lampoykkonen.fi/tuotteet/maalampo/maalampopumppu-ja-hinta/>

Metsäkeskus. 2016. Energiasisältöjen vertailu. Noudettu 25.3.2016 osoitteesta:

<http://www.halkoliiteri.com/tiedostot/Tiedostot/energiavertailu.pdf>

Motiva. 2015a. Maalämpöpumppu, MLP. Noudettu 17.4.2016 osoitteesta Motiva:

http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp

Motiva. 2015b. Matalaenergiatalon määritelmiä. Noudettu 17.4.2016 osoitteesta

Motiva:

http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmiä

Motiva. 2016a. Aurinkoenergia. Noudettu 3.5.2016 osoitteesta Motiva:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia

Motiva. 2016b. Aurinkosähkön yhdistäminen muihin energiajärjestelmiin. Noudettu 3.5.2016 osoitteesta Motiva Oy:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkon_yhdistaminen_muihin_energiajarjestelmiin

Motiva Oy. 2012. Pientalon lämmitysjärjestelmät. Noudettu 16.4.2016 osoitteesta

Julkaisut: http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf

Motiva Oy. 2015c. Lämmitystapojen vertailulaskuri. Noudettu 15.4.2016 osoitteesta

eneuvonta.fi: <http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>

MV-Jäähdytys. ei pvm. Kiinteistölämpöpumput. Noudettu osoitteesta 15.4.2016 MV-Jäähdytys.fi:

<http://www.mvjaahdytys.fi/lammitys/?gclid=CNnhwOGYgcsCFeXVcgodBqsDGg>

Mäkelä, M.;Soininen, L.;Tuomola, S.;& Öistämö, J. 2009. Technical Formulas. Jyväskylä: Gummerus.

Nollaenergiatalo. ei pvm. Millainen on energiatehokas pientalo? Noudettu 20.4.2016 osoitteesta Nollaenergiatalo: <http://www.nollaenergiatalo.fi/nollaenergiatalon-suunnittelu#aurinkopaneeli>

Ojaniemi, A.;& Penttinen, L. 2009. Pudasjärven matalaenergiarakentamisen hirsitalokorttelialue - Selvitys lämmön tuotannosta uusiutuvalla energialla. Benet Oy, 10–12, 20–24.

ONE1 Oy. 2016. Uuden asuin- ja työpaikka-alueen aluelämpöverkon hybridiratkaisut -kannattavuusselvitys. Lahti.

Pientalorakentamisen kehittämiskeskus ry, P. 2015. Lämmitysjärjestelmä valinnat 2006-2014. Noudettu 20.4.2016 osoitteesta Lämmitysjärjestelmän valinta: http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta

Pixabay. 2014a. Pellettikuva. Noudettu 27.4.2016 osoitteesta Kuvapankki: <https://pixabay.com/fi/briketit-pelletit-puu-polttopuut-432098/>

Pixabay. 2014b. Tyhjiöputkikeräinkuva. Noudettu 27.4.2016 osoitteesta Kuvapankki: <https://pixabay.com/fi/aurinko-vedenl%C3%A4mmitin-aurinko-vesi-331316/>

Pixabay. 2015. Hakekuva. Noudettu 27.4.2016 osoitteesta Kuvapankki: <https://pixabay.com/fi/haketta-vaaka-puu-luonne-puutarha-979668/>

Pohjolan Ekotalo Oy. 2016. Passiivitalon ja matalaenergiatalon määritelmät. Noudettu 25.3.2016 osoitteesta Ekotalo: <http://www.ekotalo.fi/info/mika-on-passiivitalo>

Raiko, R.;Saastamoinen, J.;Hupa, M.;& Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 136.

Robert Bosch Oy/ Bosch Termotekniikka. 2016. Lämmitysjärjestelmän valintaopas. Noudettu 20.4.2016 osoitteesta Lämmitystavat:

<http://www.lampopumppu.fi/wp-content/uploads/2015/09/lammitysjarjestelman-valintaopas-bosch-1.pdf>

Senera Oy. 2012. Maalämpö. Noudettu 20.4.2016 osoitteesta Senera:
<http://www.senera.fi/Maalampo#7>

Suomen virallinen tilasto. 2015. Liitetaulukko 3. Lämmitysenergian kuluttajahintoja joulukuussa 2015. Noudettu 23.3.2016 osoitteesta Tilastokeskus:
http://www.stat.fi/til/ehi/2015/04/ehi_2015_04_2016-03-09_tau_003_fi.html

Suomen virallinen tilasto. 2016. Liitetaulukko 25. Puupelletin kuluttajahinta. Noudettu 23.3.2016 osoitteesta Tilastokeskus:
http://stat.fi/til/thi/2016/02/thi_2016_02_2016-03-24_tau_025_fi.html

Tampereen kaupunki. 2014a. Kaava 8349: Rakentamistapaohje: Isokuusi II, Isokuusen itäinen asuinalue, Aurinkorinne, asemakaava nro. Noudettu 15.1.2016 osoitteesta Tampereen kaupungin sivut:
http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8349/hyvaksytyt/8349_rakentamista_paohje_150511.pdf

Tampereen kaupunki. 2014b. Havainnekuva: kaava nro 8349. Tampere, Suomi.

Tampereen kaupunki. 2015a. Asemakaava 8349 kuva. Tampere, Suomi.

Tampereen kaupunki. 2015b. Kaava 8349: Asemakaavaluonnoksesta saadun palautteen tiivistelmä ja siihen laaditut vastineet: Isokuusi 2, Isokuusen itäinen asuinalue, Aurinkorinne. Noudettu 15.1.2016 osoitteesta Tampereen kaupungin sivut:
http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8349/luonnos/8349_luonnoksen_palautteet_ja_vastineet.pdf

Tampereen kaupunki. 2015c. Kaava 8349: Asemakaavan selostus: Isokuusi II, Isokuusen itäinen asuinalue, Aurinkorinne, asemakaava nro 8349. Noudettu 15.1.2016 osoitteesta Tampereen kaupungin sivut:
http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8349/hyvaksytyt/8349_selostus_150511.pdf

Vanhanen, J.;Pesola, A.;& Vehviläinen, I. (2011). Koukkurannan lämpöenergiaratkaisujen vertailu. Tampere: Gaia Consulting, 1, 5–6.

LIITTEET

1 (8)

Liite 1. Järjestelmien kustannukset ilman korkoja

TAULUKKO 1. MLP 1 - järjestelmän kustannukset ilman korkoja

MLP 1 (ilman korkoja) vuosi	Energia kustannukset €/ vuosi	Kumulatiiviset kustannukset €/ vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous €/ vuosi
1.	210	10 500	724
2.	210	10 710	1 448
3.	210	10 920	2 173
4.	210	11 129	2 897
5.	210	11 339	3 621
6.	210	11 549	4 345
7.	210	11 758	5 070
8.	210	11 968	5 794
9.	210	12 178	6 518
10.	210	12 387	7 242
11.	210	12 597	7 966
12.	210	12 807	8 691
13.	210	13 016	9 415
14.	210	13 226	10 139
15.	210	13 436	10 863
16.	210	13 646	11 588
17.	210	13 855	12 312
18.	210	14 065	13 036
19.	210	14 275	13 760
20.	210	14 484	14 484
Yhteensä	4 194	14 848	

2 (8)

TAULUKKO 2. HAKE 1 -järjestelmän kustannukset ilman korkoja

HAKE 1 (ilman korkoja)	Energiakustannukset	Kumulatiiviset	Kumulatiivinen kokonaissumma
vuosi	kustannukset	kustannukset	jaettu tasaeriin / talous
	€ / vuosi	€ / vuosi	€ / vuosi
1.	122	20 605	1 146
2.	122	20 727	2 292
3.	122	20 849	3 438
4.	122	20 971	4 584
5.	122	21 093	5 730
6.	122	21 215	6 876
7.	122	21 337	8 022
8.	122	21 458	9 168
9.	122	21 580	10 314
10.	122	21 702	11 460
11.	122	21 824	12 606
12.	122	21 946	13 752
13.	122	22 068	14 898
14.	122	22 190	16 044
15.	122	22 311	17 190
16.	122	22 433	18 336
17.	122	22 555	19 483
18.	122	22 677	20 629
19.	122	22 799	21 775
20.	122	22 921	22 921
e-kust. yht	2 437		

TAULUKKO 3. PEL 1 -järjestelmän kustannukset ilman korkoja

PEL 1 (ilman korkoja)	Energia	Kumulatiiviset	Kumulatiivinen kokonaissumma
vuosi	kustannukset	kustannukset	jaettu tasaeriin / talous
	€ / vuosi	€ / vuosi	€/ vuosi
1.	384	10 626	896
2.	384	11 010	1 792
3.	384	11 394	2 688
4.	384	11 778	3 584
5.	384	12 162	4 480
6.	384	12 546	5 376
7.	384	12 929	6 272
8.	384	13 313	7 168
9.	384	13 697	8 064
10.	384	14 081	8 960
11.	384	14 465	9 856
12.	384	14 849	10 752
13.	384	15 233	11 649
14.	384	15 617	12 545
15.	384	16 001	13 441
16.	384	16 385	14 337
17.	384	16 769	15 233
18.	384	17 153	16 129
19.	384	17 537	17 025
20.	384	17 921	17 921
e-kust. yht	7 679		

TAULUKKO 4. MLP 5 -järjestelmän kustannukset ilman korkoja

MLP 5 (ilman korkoja) vuosi	Energia kustannukset € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous € / vuosi
1.	1 254	22 953	4 591	468
2.	1 254	24 207	4 841	936
3.	1 254	25 461	5 092	1 403
4.	1 254	26 715	5 343	1 871
5.	1 254	27 969	5 594	2 339
6.	1 254	29 223	5 845	2 807
7.	1 254	30 477	6 095	3 275
8.	1 254	31 731	6 346	3 742
9.	1 254	32 985	6 597	4 210
10.	1 254	34 240	6 848	4 678
11.	1 254	35 494	7 099	5 146
12.	1 254	36 748	7 350	5 614
13.	1 254	38 002	7 600	6 082
14.	1 254	39 256	7 851	6 549
15.	1 254	40 510	8 102	7 017
16.	1 254	41 764	8 353	7 485
17.	1 254	43 018	8 604	7 953
18.	1 254	44 272	8 854	8 421
19.	1 254	45 526	9 105	8 888
20.	1 254	46 781	9 356	9 356
Yhteensä	25 082	46 781		

TAULUKKO 5. HAKE 5 -järjestelmän kustannukset ilman korkoja

HAKE 5 (ilman korkoja) vuosi	Energia kustannukset € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin / talous € / vuosi
1.	729	28 602	5 720	424
2.	729	29 330	5 866	849
3.	729	30 059	6 012	1 273
4.	729	30 788	6 158	1 698
5.	729	31 517	6 303	2 122
6.	729	32 245	6 449	2 547
7.	729	32 974	6 595	2 971
8.	729	33 703	6 741	3 396
9.	729	34 432	6 886	3 820
10.	729	35 160	7 032	4 245
11.	729	35 889	7 178	4 669
12.	729	36 618	7 324	5 094
13.	729	37 347	7 469	5 518
14.	729	38 075	7 615	5 943
15.	729	38 804	7 761	6 367
16.	729	39 533	7 907	6 792
17.	729	40 262	8 052	7 216
18.	729	40 990	8 198	7 641
19.	729	41 719	8 344	8 065
20.	729	42 448	8 490	8 490
e-kust. yht	14 575			

TAULUKKO 6. PEL 5 -järjestelmän kustannukset ilman korkoja

PEL 5 (ilman korkoja) vuosi	Energia kustannukset € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin €/ vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous € / vuosi
1.	2 296	16 233	3 247	599
2.	2 296	18 529	3 706	1 197
3.	2 296	20 825	4 165	1 796
4.	2 296	23 122	4 624	2 394
5.	2 296	25 418	5 084	2 993
6.	2 296	27 714	5 543	3 592
7.	2 296	30 010	6 002	4 190
8.	2 296	32 307	6 461	4 789
9.	2 296	34 603	6 921	5 388
10.	2 296	36 899	7 380	5 986
11.	2 296	39 195	7 839	6 585
12.	2 296	41 492	8 298	7 183
13.	2 296	43 788	8 758	7 782
14.	2 296	46 084	9 217	8 381
15.	2 296	48 380	9 676	8 979
16.	2 296	50 677	10 135	9 578
17.	2 296	52 973	10 595	10 177
18.	2 296	55 269	11 054	10 775
19.	2 296	57 565	11 513	11 374
20.	2 296	59 862	11 972	11 972
e-kust. yht	45 925			

TAULUKKO 7. MLP 15 -järjestelmän kustannukset ilman korkoja

MLP 15 (ilman korkoja) vuosi	Energia kustannukset € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonais jaettu tasaeriin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous € / vuosi
1.	3 865	54 084	3 606	425
2.	3 865	57 949	3 863	850
3.	3 865	61 814	4 121	1 275
4.	3 865	65 679	4 379	1 700
5.	3 865	69 544	4 636	2 125
6.	3 865	73 409	4 894	2 550
7.	3 865	77 275	5 152	2 975
8.	3 865	81 140	5 409	3 401
9.	3 865	85 005	5 667	3 826
10.	3 865	88 870	5 925	4 251
11.	3 865	92 735	6 182	4 676
12.	3 865	96 600	6 440	5 101
13.	3 865	100 465	6 698	5 526
14.	3 865	104 330	6 955	5 951
15.	3 865	108 195	7 213	6 376
16.	3 865	112 061	7 471	6 801
17.	3 865	115 926	7 728	7 226
18.	3 865	119 791	7 986	7 651
19.	3 865	123 656	8 244	8 076
20.	3 865	127 521	8 501	8 501
e-kust. yht	77 302			

TAULUKKO 8. HAKE 15 -järjestelmän kustannukset ilman korkoja

HAKE 15 (ilman korkoja) vuosi	Energia kustannukset € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonais jaettu tasaeriin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous € / vuosi
1.	2 246	48 592	3 239	304
2.	2 246	50 838	3 389	608
3.	2 246	53 084	3 539	913
4.	2 246	55 330	3 689	1 217
5.	2 246	57 576	3 838	1 521
6.	2 246	59 822	3 988	1 825
7.	2 246	62 068	4 138	2 130
8.	2 246	64 314	4 288	2 434
9.	2 246	66 560	4 437	2 738
10.	2 246	68 806	4 587	3 042
11.	2 246	71 052	4 737	3 346
12.	2 246	73 298	4 887	3 651
13.	2 246	75 544	5 036	3 955
14.	2 246	77 790	5 186	4 259
15.	2 246	80 036	5 336	4 563
16.	2 246	82 282	5 485	4 868
17.	2 246	84 528	5 635	5 172
18.	2 246	86 774	5 785	5 476
19.	2 246	89 020	5 935	5 780
20.	2 246	91 266	6 084	6 084
e-kust. yht	44 919			

TAULUKKO 9. PEL 15 -järjestelmän kustannukset ilman korkoja

PEL 15 (ilman korkoja) vuosi	Energia kustannukset € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonais jaettu tasaeriin €/ vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous € / vuosi
1.	7 077	30 250	2 017	549
2.	7 077	37 327	2 488	1 098
3.	7 077	44 404	2 960	1 647
4.	7 077	51 481	3 432	2 196
5.	7 077	58 558	3 904	2 745
6.	7 077	65 635	4 376	3 294
7.	7 077	72 712	4 847	3 843
8.	7 077	79 789	5 319	4 392
9.	7 077	86 866	5 791	4 941
10.	7 077	93 943	6 263	5 490
11.	7 077	101 020	6 735	6 040
12.	7 077	108 097	7 206	6 589
13.	7 077	115 175	7 678	7 138
14.	7 077	122 252	8 150	7 687
15.	7 077	129 329	8 622	8 236
16.	7 077	136 406	9 094	8 785
17.	7 077	143 483	9 566	9 334
18.	7 077	150 560	10 037	9 883
19.	7 077	157 637	10 509	10 432
20.	7 077	164 714	10 981	10 981
e-kust. yht	141 541			

1 (8)

Liite 2. Järjestelmien kustannukset energiahintojen sekä investointien koron kanssa.

TAULUKKO 10. MLP 1 -järjestelmän kustannukset korkojen kanssa

MLP 1 vuosi	E-hinnan nousu 4,6% / vuosi E-kustannukset € / vuosi	Inv. korko 4,0% / vuosi Investointi+korko € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma Jaettu tasaeriin / talous € / vuosi
1.	210	10 290	10 500	930,18
2.	219	10 702	10 921	1 860
3.	229	11 113	11 343	2 791
4.	240	11 525	11 765	3 721
5.	251	11 936	12 187	4 651
6.	263	12 348	12 611	5 581
7.	275	12 760	13 034	6 511
8.	287	13 171	13 459	7 441
9.	300	13 583	13 883	8 372
10.	314	13 995	14 309	9 302
11.	329	14 406	14 735	10 232
12.	344	14 818	15 162	11 162
13.	360	15 229	15 589	12 092
14.	376	15 641	16 017	13 023
15.	394	16 053	16 446	13 953
16.	412	16 464	16 876	14 883
17.	431	16 876	17 307	15 813
18.	450	17 288	17 738	16 743
19.	471	17 699	18 170	17 673
20.	493	18 111	18 604	18 604
Yhteensä	6 647,60			

TAULUKKO 11. HAKE 1 -järjestelmän kustannukset korkojen kanssa

HAKE 1 vuosi	E-hinnan nousu 5,4 % / vuosi E-kustannukset € / vuosi	inv. korko 4,0 % / vuosi Investointi+korko € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous € / vuosi
1.	122	20 484	20 605	1 819
2.	128	21 303	21 431	3 638
3.	135	22 122	22 258	5 457
4.	143	22 942	23 084	7 276
5.	150	23 761	23 911	9 096
6.	158	24 580	24 739	10 915
7.	167	25 400	25 567	12 734
8.	176	26 219	26 395	14 553
9.	186	27 038	27 224	16 372
10.	196	27 858	28 053	18 191
11.	206	28 677	28 883	20 010
12.	217	29 496	29 714	21 829
13.	229	30 316	30 545	23 648
14.	241	31 135	31 377	25 468
15.	254	31 954	32 209	27 287
16.	268	32 774	33 042	29 106
17.	283	33 593	33 876	30 925
18.	298	34 412	34 710	32 744
19.	314	35 232	35 546	34 563
20.	331	36 051	36 382	36 382
e-kust. yht	4 204			

TAULUKKO 12. PEL 1 -järjestelmän kustannukset korkojen kanssa

PEL 1 vuosi	E-hinnan nousu 5,4 % / vuosi E-kustannukset € / vuosi	inv. korko 4,0 % / vuosi Investointi+korko € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous € / vuosi
1.	384	10 242	10 626	953
2.	405	10 651	11 056	2 043
3.	427	11 061	11 488	3 133
4.	450	11 471	11 920	4 222
5.	474	11 881	12 354	5 312
6.	499	12 290	12 790	6 402
7.	526	12 700	13 226	7 491
8.	555	13 110	13 664	8 581
9.	585	13 519	14 104	9 671
10.	616	13 929	14 545	10 760
11.	650	14 339	14 988	11 850
12.	685	14 748	15 433	12 940
13.	722	15 158	15 880	14 029
14.	761	15 568	16 328	15 119
15.	802	15 977	16 779	16 209
16.	845	16 387	17 232	17 298
17.	891	16 797	17 687	18 388
18.	939	17 206	18 145	19 477
19.	989	17 616	18 606	20 567
20.	1 043	18 026	19 069	21 657
e-kust. yht	13 246			

TAULUKKO 13. MLP 5 -järjestelmän kustannukset korkojen kanssa

MLP 5 vuosi	E-hinnan nousu 4,6% / vuosi E-kustannukset € / vuosi	Energia kustannukset / talous € / vuosi	Inv. korko 4,0% / vuosi Investointi+korko € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous € / talous / vuosi
1.	1 254	251	21 699	22 953	2 057	411
2.	1 312	262	22 567	23 878	4 114	823
3.	1 372	274	23 434	24 807	6 171	1 234
4.	1 435	287	24 302	25 738	8 227	1 645
5.	1 501	300	25 170	26 672	10 284	2 057
6.	1 570	314	26 038	27 609	12 341	2 468
7.	1 643	329	26 906	28 549	14 398	2 880
8.	1 718	344	27 774	29 492	16 455	3 291
9.	1 797	359	28 642	30 439	18 512	3 702
10.	1 880	376	29 510	31 390	20 568	4 114
11.	1 966	393	30 378	32 344	22 625	4 525
12.	2 057	411	31 246	33 303	24 682	4 936
13.	2 151	430	32 114	34 265	26 739	5 348
14.	2 250	450	32 982	35 232	28 796	5 759
15.	2 354	471	33 850	36 204	30 853	6 171
16.	2 462	492	34 718	37 180	32 909	6 582
17.	2 575	515	35 586	38 161	34 966	6 993
18.	2 694	539	36 454	39 147	37 023	7 405
19.	2 818	564	37 322	40 139	39 080	7 816
20.	2 947	589	38 189	41 137	41 137	8 227
e-kust. yht	39 758					

TAULUKKO 14. HAKE 5 -järjestelmän kustannukset korkojen kanssa

HAKE 5 vuosi	E-hinnan nousu 4,6% / vuosi E-kustannukset € / vuosi	Energia kustannukset / talous € / vuosi	Inv. korko 4,0% / vuosi Investointi+korko € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin / talous € / talous / vuosi
1.	729	146	27 873	28 019	2 473	495
2.	768	154	28 988	29 141	4 108	822
3.	810	162	30 103	30 265	5 744	1 149
4.	853	171	31 218	31 388	7 379	1 476
5.	899	180	32 333	32 512	9 015	1 803
6.	948	190	33 448	33 637	10 651	2 130
7.	999	200	34 562	34 762	12 286	2 457
8.	1 053	211	35 677	35 888	13 922	2 784
9.	1 110	222	36 792	37 014	15 557	3 111
10.	1 170	234	37 907	38 141	17 193	3 439
11.	1 233	247	39 022	39 269	18 829	3 766
12.	1 300	260	40 137	40 397	20 464	4 093
13.	1 370	274	41 252	41 526	22 100	4 420
14.	1 444	289	42 367	42 656	23 736	4 747
15.	1 522	304	43 482	43 786	25 371	5 074
16.	1 604	321	44 597	44 917	27 007	5 401
17.	1 691	338	45 712	46 050	28 642	5 728
18.	1 782	356	46 827	47 183	30 278	6 056
19.	1 878	376	47 941	48 317	31 914	6 383
20.	1 979	396	49 056	49 452	33 549	6 710

TAULUKKO 15. PEL 5 -järjestelmän kustannukset korkojen kanssa

PEL 5 vuosi	E-hinnan nousu 4,6% / vuosi E-kustannukset € / vuosi	Energia kustannukset / talous € / vuosi	Inv. korko 4,0% / vuosi Investointi+korko € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin / talous € / talous / vuosi
1.	2 296	459	13 936	14 396	1 289	258
2.	2 420	484	14 494	14 978	3 012	602
3.	2 551	510	15 051	15 562	4 736	947
4.	2 689	538	15 609	16 147	6 460	1 292
5.	2 834	567	16 166	16 733	8 183	1 637
6.	2 987	597	16 724	17 321	9 907	1 981
7.	3 148	630	17 281	17 911	11 631	2 326
8.	3 318	664	17 839	18 502	13 354	2 671
9.	3 497	699	18 396	19 096	15 078	3 016
10.	3 686	737	18 954	19 691	16 801	3 360
11.	3 885	777	19 511	20 288	18 525	3 705
12.	4 095	819	20 069	20 888	20 249	4 050
13.	4 316	863	20 626	21 489	21 972	4 394
14.	4 549	910	21 183	22 093	23 696	4 739
15.	4 795	959	21 741	22 700	25 420	5 084
16.	5 054	1 011	22 298	23 309	27 143	5 429
17.	5 327	1 065	22 856	23 921	28 867	5 773
18.	5 615	1 123	23 413	24 536	30 590	6 118
19.	5 918	1 184	23 971	25 154	32 314	6 463
20.	6 237	1 247	24 528	25 776	34 038	6 808
e-kust. yht	79 218					

TAULUKKO 16. MLP 15 -järjestelmän kustannukset korkojen kanssa

MLP 15 vuosi	E-hinnan nousu 4,6% / vuosi E-kustannukset € / vuosi	Energia kustannukset / talous € / vuosi	Inv. korko 4,0% / vuosi Investointi+korko € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaeriin / talous € / talous / vuosi
1.	3 865	258	50 219	54 084	3 733	249
2.	4 043	270	51 028	55 070	4 159	277
3.	4 229	282	51 836	56 065	4 584	306
4.	4 423	295	52 645	57 068	5 009	334
5.	4 627	308	53 454	58 081	5 434	362
6.	4 840	323	54 263	59 102	5 859	391
7.	5 062	337	55 071	60 134	6 284	419
8.	5 295	353	55 880	61 175	6 709	447
9.	5 539	369	56 689	62 228	7 134	476
10.	5 794	386	57 498	63 291	7 559	504
11.	6 060	404	58 306	64 366	7 984	532
12.	6 339	423	59 115	65 454	8 409	561
13.	6 630	442	59 924	66 554	8 834	589
14.	6 935	462	60 733	67 668	9 259	617
15.	7 254	484	61 541	68 796	9 684	646
16.	7 588	506	62 350	69 938	10 109	674
17.	7 937	529	63 159	71 096	10 535	702
18.	8 302	553	63 968	72 270	10 960	731
19.	8 684	579	64 776	73 461	11 385	759
20.	9 084	606	65 585	74 669	11 810	787
e-kust. yht	122 532	8 169				

TAULUKKO 17. HAKE 15 -järjestelmän kustannukset korkojen kanssa

HAKE 15 vuosi	E-hinnan nousu 4,6% / vuosi E-kustannukset € / vuosi	Energia kustannukset / talous € / vuosi	Inv. korko 4,0% / vuosi Investointi+korko € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin / talous € / talous / vuosi
1.	2 246	150	46 346	46 496	2 325	155
2.	2 367	158	48 200	48 358	2 418	161
3.	2 495	166	50 054	50 220	2 511	167
4.	2 630	175	51 908	52 083	2 604	174
5.	2 772	185	53 762	53 946	2 697	180
6.	2 922	195	55 615	55 810	2 791	186
7.	3 079	205	57 469	57 675	2 884	192
8.	3 246	216	59 323	59 540	2 977	198
9.	3 421	228	61 177	61 405	3 070	205
10.	3 606	240	63 031	63 271	3 164	211
11.	3 800	253	64 885	65 138	3 257	217
12.	4 005	267	66 739	67 006	3 350	223
13.	4 222	281	68 592	68 874	3 444	230
14.	4 450	297	70 446	70 743	3 537	236
15.	4 690	313	72 300	72 613	3 631	242
16.	4 943	330	74 154	74 484	3 724	248
17.	5 210	347	76 008	76 355	3 818	255
18.	5 492	366	77 862	78 228	3 911	261
19.	5 788	386	79 716	80 101	4 005	267
20.	6 101	407	81 569	81 976	4 099	273
e-kust. yht	77 483					

TAULUKKO 18. PEL 15 -järjestelmän kustannukset korkojen kanssa

PEL 15 vuosi	E-hinnan nousu 4,6% / vuosi E-kustannukset € / vuosi	Energia kustannukset / talous € / vuosi	Inv. korko 4,0% / vuosi Investointi+korko € / vuosi	Kumulatiiviset kustannukset € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin € / vuosi	Kumulatiivinen kokonaissumma jaettu tasaariin / talous € / talous / vuosi
1.	7 077	472	23 173	23 645	2 103	140
2.	7 459	497	24 100	24 597	5 104	340
3.	7 862	524	25 027	25 551	8 104	540
4.	8 287	552	25 954	26 506	11 104	740
5.	8 734	582	26 881	27 463	14 105	940
6.	9 206	614	27 808	28 421	17 105	1 140
7.	9 703	647	28 735	29 382	20 106	1 340
8.	10 227	682	29 662	30 343	23 106	1 540
9.	10 779	719	30 589	31 307	26 106	1 740
10.	11 361	757	31 515	32 273	29 107	1 940
11.	11 974	798	32 442	33 241	32 107	2 140
12.	12 621	841	33 369	34 211	35 108	2 341
13.	13 303	887	34 296	35 183	38 108	2 541
14.	14 021	935	35 223	36 158	41 108	2 741
15.	14 778	985	36 150	37 135	44 109	2 941
16.	15 576	1 038	37 077	38 115	47 109	3 141
17.	16 417	1 094	38 004	39 098	50 110	3 341
18.	17 304	1 154	38 931	40 084	53 110	3 541
19.	18 238	1 216	39 858	41 074	56 110	3 741
20.	19 223	1 282	40 785	42 066	59 111	3 941
e-kust. yht	244 150					

Liite 3. Järjestelmien investointien korkojen sekä annuiteettien laskelmat

TAULUKKO 19. MLP 1 -järjestelmän investoinnin korkojen ja annuiteettien laskelmat

MLP 1	Luotto	Annuiteetti	Korko	Lyhennys	Vuotuiset kustannukset
Vuosi	€	€ / vuosi	€ / vuosi	€ / vuosi	€ / vuosi
1. vuosi	10 290 €	757 €	412 €	346 €	555 €
2. vuosi	9 944 €	757 €	398 €	359 €	579 €
3. vuosi	9 585 €	757 €	383 €	374 €	603 €
4. vuosi	9 211 €	757 €	368 €	389 €	629 €
5. vuosi	8 823 €	757 €	353 €	404 €	655 €
6. vuosi	8 418 €	757 €	337 €	420 €	683 €
7. vuosi	7 998 €	757 €	320 €	437 €	712 €
8. vuosi	7 561 €	757 €	302 €	455 €	742 €
9. vuosi	7 106 €	757 €	284 €	473 €	773 €
10. vuosi	6 633 €	757 €	265 €	492 €	806 €
11. vuosi	6 141 €	757 €	246 €	512 €	840 €
12. vuosi	5 630 €	757 €	225 €	532 €	876 €
13. vuosi	5 098 €	757 €	204 €	553 €	913 €
14. vuosi	4 544 €	757 €	182 €	575 €	952 €
15. vuosi	3 969 €	757 €	159 €	598 €	992 €
16. vuosi	3 371 €	757 €	135 €	622 €	1 034 €
17. vuosi	2 748 €	757 €	110 €	647 €	1 078 €
18. vuosi	2 101 €	757 €	84 €	673 €	1 124 €
19. vuosi	1 428 €	757 €	57 €	700 €	1 171 €
20. vuosi	728 €	757 €	29 €	728 €	1 221 €
	Yht	15 143 €	4 853 €	10 290 €	

TAULUKKO 20. HAKE 1 -järjestelmän investoinnin korkojen ja annuiteettien laskelmat

HAKE 1					Vuotuiset kust
Vuosi	Luotto	Annuiteetti	korko	Lyhennys	€ / vuosi
1. vuosi	20484,00	1 507,25 €	819	688	810
2. vuosi	19 796,11 €	1 507,25 €	792	715	844
3. vuosi	19 080,71 €	1 507,25 €	763	744	879
4. vuosi	18 336,69 €	1 507,25 €	733	774	916
5. vuosi	17 562,91 €	1 507,25 €	703	805	955
6. vuosi	16 758,17 €	1 507,25 €	670	837	995
7. vuosi	15 921,25 €	1 507,25 €	637	870	1 037
8. vuosi	15 050,85 €	1 507,25 €	602	905	1 081
9. vuosi	14 145,64 €	1 507,25 €	566	941	1 127
10. vuosi	13 204,22 €	1 507,25 €	528	979	1 175
11. vuosi	12 225,14 €	1 507,25 €	489	1018	1 224
12. vuosi	11 206,89 €	1 507,25 €	448	1059	1 276
13. vuosi	10 147,92 €	1 507,25 €	406	1101	1 330
14. vuosi	9 046,59 €	1 507,25 €	362	1145	1 387
15. vuosi	7 901,20 €	1 507,25 €	316	1191	1 446
16. vuosi	6 710,00 €	1 507,25 €	268	1239	1 507
17. vuosi	5 471,15 €	1 507,25 €	219	1288	1 571
18. vuosi	4 182,75 €	1 507,25 €	167	1340	1 638
19. vuosi	2 842,81 €	1 507,25 €	114	1394	1 708
20. vuosi	1 449,28 €	1 507,25 €	58	1449	1 780
	Yht	30 144,97 €	9660,97	20 484,00 €	

TAULUKKO 21. PEL 1 -järjestelmän investoinnin korkojen sekä annuiteettien laskelmat

PEL 1					Vuotuiset kust
Vuosi	Luotto	Annuiteetti	korko	Lyhennys	€ / vuosi
1. vuosi	10242	753,62 €	409,68	344 €	728 €
2. vuosi	9 898,06 €	753,62 €	395,92	358 €	762 €
3. vuosi	9 540,35 €	753,62 €	381,61	372 €	799 €
4. vuosi	9 168,34 €	753,62 €	366,73	387 €	836 €
5. vuosi	8 781,45 €	753,62 €	351,26	402 €	876 €
6. vuosi	8 379,09 €	753,62 €	335,16	418 €	918 €
7. vuosi	7 960,63 €	753,62 €	318,43	435 €	962 €
8. vuosi	7 525,43 €	753,62 €	301,02	453 €	1 007 €
9. vuosi	7 072,82 €	753,62 €	282,91	471 €	1 056 €
10. vuosi	6 602,11 €	753,62 €	264,08	490 €	1 106 €
11. vuosi	6 112,57 €	753,62 €	244,50	509 €	1 159 €
12. vuosi	5 603,45 €	753,62 €	224,14	529 €	1 214 €
13. vuosi	5 073,96 €	753,62 €	202,96	551 €	1 272 €
14. vuosi	4 523,29 €	753,62 €	180,93	573 €	1 333 €
15. vuosi	3 950,60 €	753,62 €	158,02	596 €	1 397 €
16. vuosi	3 355,00 €	753,62 €	134,20	619 €	1 464 €
17. vuosi	2 735,58 €	753,62 €	109,42	644 €	1 535 €
18. vuosi	2 091,38 €	753,62 €	83,66	670 €	1 609 €
19. vuosi	1 421,41 €	753,62 €	56,86	697 €	1 686 €
20. vuosi	724,64 €	753,62 €	28,99	725 €	1 768 €
	Yht	15 072,49 €	4830,49	10 242,00 €	

TAULUKKO 22. MLP 5 -järjestelmän investoinnin korkojen ja annuiteettien laskelmat

MLP 5		Vuotuiset kustannukset					
Vuosi	Luotto	Annuiteetti	korko	Lyhennys	Lyhennys/taloudellisuus / vuosi	€/ vuosi	€/ talous / vuosi
1. vuosi	21699	1 596,65 €	867,96	729 €	146 €	1 983 €	397 €
2. vuosi	20 970,31 €	1 596,65 €	838,81	758 €	152 €	2 070 €	414 €
3. vuosi	20 212,47 €	1 596,65 €	808,50	788 €	158 €	2 160 €	432 €
4. vuosi	19 424,32 €	1 596,65 €	776,97	820 €	164 €	2 255 €	451 €
5. vuosi	18 604,64 €	1 596,65 €	744,19	852 €	170 €	2 354 €	471 €
6. vuosi	17 752,18 €	1 596,65 €	710,09	887 €	177 €	2 457 €	491 €
7. vuosi	16 865,61 €	1 596,65 €	674,62	922 €	184 €	2 565 €	513 €
8. vuosi	15 943,59 €	1 596,65 €	637,74	959 €	192 €	2 677 €	535 €
9. vuosi	14 984,68 €	1 596,65 €	599,39	997 €	199 €	2 794 €	559 €
10. vuosi	13 987,42 €	1 596,65 €	559,50	1 037 €	207 €	2 917 €	583 €
11. vuosi	12 950,26 €	1 596,65 €	518,01	1 079 €	216 €	3 045 €	609 €
12. vuosi	11 871,63 €	1 596,65 €	474,87	1 122 €	224 €	3 179 €	636 €
13. vuosi	10 749,84 €	1 596,65 €	429,99	1 167 €	233 €	3 318 €	664 €
14. vuosi	9 583,18 €	1 596,65 €	383,33	1 213 €	243 €	3 464 €	693 €
15. vuosi	8 369,86 €	1 596,65 €	334,79	1 262 €	252 €	3 616 €	723 €
16. vuosi	7 108,00 €	1 596,65 €	284,32	1 312 €	262 €	3 774 €	755 €
17. vuosi	5 795,67 €	1 596,65 €	231,83	1 365 €	273 €	3 940 €	788 €
18. vuosi	4 430,85 €	1 596,65 €	177,23	1 419 €	284 €	4 113 €	823 €
19. vuosi	3 011,43 €	1 596,65 €	120,46	1 476 €	295 €	4 294 €	859 €
20. vuosi	1 535,24 €	1 596,65 €	61,41	1 535 €	307 €	4 483 €	897 €
	Yht	31 933,01 €	10234,01	21 699,00 €			

TAULUKKO 23. HAKE 5 -järjestelmän investoinnin korkojen ja annuiteettien laskelmat

HAKE 5					Vuotuiset kustannukset		
Vuosi	Luotto	Annuiteetti	korko	Lyhennys	Lyhennys/taloudellisuus / vuosi	€/ vuosi	€/ talous / vuosi
1. vuosi	27873,00	2 050,94 €	1114,92	936 €	187 €	1 665 €	333 €
2. vuosi	26 936,98 €	2 050,94 €	1077,48	973 €	195 €	1 742 €	348 €
3. vuosi	25 963,51 €	2 050,94 €	1038,54	1 012 €	202 €	1 822 €	364 €
4. vuosi	24 951,11 €	2 050,94 €	998,04	1 053 €	211 €	1 906 €	381 €
5. vuosi	23 898,21 €	2 050,94 €	955,93	1 095 €	219 €	1 994 €	399 €
6. vuosi	22 803,19 €	2 050,94 €	912,13	1 139 €	228 €	2 087 €	417 €
7. vuosi	21 664,37 €	2 050,94 €	866,57	1 184 €	237 €	2 183 €	437 €
8. vuosi	20 480,01 €	2 050,94 €	819,20	1 232 €	246 €	2 285 €	457 €
9. vuosi	19 248,26 €	2 050,94 €	769,93	1 281 €	256 €	2 391 €	478 €
10. vuosi	17 967,25 €	2 050,94 €	718,69	1 332 €	266 €	2 502 €	500 €
11. vuosi	16 634,99 €	2 050,94 €	665,40	1 386 €	277 €	2 619 €	524 €
12. vuosi	15 249,45 €	2 050,94 €	609,98	1 441 €	288 €	2 741 €	548 €
13. vuosi	13 808,48 €	2 050,94 €	552,34	1 499 €	300 €	2 868 €	574 €
14. vuosi	12 309,88 €	2 050,94 €	492,40	1 559 €	312 €	3 002 €	600 €
15. vuosi	10 751,33 €	2 050,94 €	430,05	1 621 €	324 €	3 143 €	629 €
16. vuosi	9 130,44 €	2 050,94 €	365,22	1 686 €	337 €	3 290 €	658 €
17. vuosi	7 444,71 €	2 050,94 €	297,79	1 753 €	351 €	3 444 €	689 €
18. vuosi	5 691,56 €	2 050,94 €	227,66	1 823 €	365 €	3 605 €	721 €
19. vuosi	3 868,27 €	2 050,94 €	154,73	1 896 €	379 €	3 774 €	755 €
20. vuosi	1 972,06 €	2 050,94 €	78,88	1 972 €	394 €	3 952 €	790 €
	Yht	41 018,88 €	13145,88	27 873,00 €			

TAULUKKO 24. PEL 5 -järjestelmän investoinnin korkojen ja annuiteettien laskelmat

PEL 5		Vuotuiset kustannukset					
Vuosi	Luotto	Annuiteetti	korko	Lyhennys	Lyhennys/taloudellisuus / vuosi	€/ vuosi	€/ talous / vuosi
1. vuosi	13936	1 025,44 €	557,44	468 €	94 €	2 764 €	553 €
2. vuosi	13 468,00 €	1 025,44 €	538,72	487 €	97 €	2 907 €	581 €
3. vuosi	12 981,29 €	1 025,44 €	519,25	506 €	101 €	3 057 €	611 €
4. vuosi	12 475,11 €	1 025,44 €	499,00	526 €	105 €	3 215 €	643 €
5. vuosi	11 948,67 €	1 025,44 €	477,95	547 €	109 €	3 381 €	676 €
6. vuosi	11 401,19 €	1 025,44 €	456,05	569 €	114 €	3 556 €	711 €
7. vuosi	10 831,80 €	1 025,44 €	433,27	592 €	118 €	3 740 €	748 €
8. vuosi	10 239,64 €	1 025,44 €	409,59	616 €	123 €	3 934 €	787 €
9. vuosi	9 623,79 €	1 025,44 €	384,95	640 €	128 €	4 138 €	828 €
10. vuosi	8 983,30 €	1 025,44 €	359,33	666 €	133 €	4 352 €	870 €
11. vuosi	8 317,20 €	1 025,44 €	332,69	693 €	139 €	4 578 €	916 €
12. vuosi	7 624,45 €	1 025,44 €	304,98	720 €	144 €	4 816 €	963 €
13. vuosi	6 903,99 €	1 025,44 €	276,16	749 €	150 €	5 066 €	1 013 €
14. vuosi	6 154,72 €	1 025,44 €	246,19	779 €	156 €	5 329 €	1 066 €
15. vuosi	5 375,47 €	1 025,44 €	215,02	810 €	162 €	5 605 €	1 121 €
16. vuosi	4 565,06 €	1 025,44 €	182,60	843 €	169 €	5 897 €	1 179 €
17. vuosi	3 722,22 €	1 025,44 €	148,89	877 €	175 €	6 203 €	1 241 €
18. vuosi	2 845,68 €	1 025,44 €	113,83	912 €	182 €	6 526 €	1 305 €
19. vuosi	1 934,07 €	1 025,44 €	77,36	948 €	190 €	6 866 €	1 373 €
20. vuosi	986,00 €	1 025,44 €	39,44	986 €	197 €	7 223 €	1 445 €
	Yht	20 508,71 €	6572,71	13 936,00 €			

TAULUKKO 25. MLP 15 -järjestelmän investoinnin korkojen ja annuiteettien laskelmat

MLP 15		Vuotuiset k Vuotuiset kustannukset per talous					
Vuosi	Luotto	Annuiteetti	korko	Lyhennys	Lyhennys/talous € / vuosi	€ / talous / vuosi	
1. vuosi	50 219 €	3 695 €	2 009 €	1 686 €	112 €	3 978 €	370 €
2. vuosi	48 533 €	3 695 €	1 941 €	1 754 €	117 €	4 160 €	386 €
3. vuosi	46 779 €	3 695 €	1 871 €	1 824 €	122 €	4 350 €	404 €
4. vuosi	44 955 €	3 695 €	1 798 €	1 897 €	126 €	4 550 €	421 €
5. vuosi	43 058 €	3 695 €	1 722 €	1 973 €	132 €	4 758 €	440 €
6. vuosi	41 085 €	3 695 €	1 643 €	2 052 €	137 €	4 977 €	459 €
7. vuosi	39 033 €	3 695 €	1 561 €	2 134 €	142 €	5 205 €	480 €
8. vuosi	36 899 €	3 695 €	1 476 €	2 219 €	148 €	5 443 €	501 €
9. vuosi	34 680 €	3 695 €	1 387 €	2 308 €	154 €	5 693 €	523 €
10. vuosi	32 372 €	3 695 €	1 295 €	2 400 €	160 €	5 954 €	546 €
11. vuosi	29 971 €	3 695 €	1 199 €	2 496 €	166 €	6 227 €	570 €
12. vuosi	27 475 €	3 695 €	1 099 €	2 596 €	173 €	6 512 €	596 €
13. vuosi	24 879 €	3 695 €	995 €	2 700 €	180 €	6 810 €	622 €
14. vuosi	22 179 €	3 695 €	887 €	2 808 €	187 €	7 123 €	650 €
15. vuosi	19 371 €	3 695 €	775 €	2 920 €	195 €	7 449 €	678 €
16. vuosi	16 450 €	3 695 €	658 €	3 037 €	202 €	7 791 €	708 €
17. vuosi	13 413 €	3 695 €	537 €	3 159 €	211 €	8 148 €	740 €
18. vuosi	10 255 €	3 695 €	410 €	3 285 €	219 €	8 521 €	772 €
19. vuosi	6 970 €	3 695 €	279 €	3 416 €	228 €	8 912 €	807 €
20. vuosi	3 553 €	3 695 €	142 €	3 553 €	237 €	9 321 €	842 €
	Yht	73 904,04 €	23 685,04	50 219,00 €			

TAULUKKO 26. HAKE 15 - järjestelmän investoinnin korkojen ja annuiteettien laskelmat

HAKE 15					Vuotuiset k Vuotuiset kustannukset per talous		
Vuosi	Luotto	Annuiteetti	korko	Lyhennys	Lyhennys/talous € / vuosi	€ / talous / vuosi	
1. vuosi	46346	3 410,22 €	1853,84	1 556 €	104 €	3 802 €	253 €
2. vuosi	44 789,62 €	3 410,22 €	1791,58	1 619 €	108 €	3 986 €	266 €
3. vuosi	43 170,99 €	3 410,22 €	1726,84	1 683 €	112 €	4 178 €	279 €
4. vuosi	41 487,60 €	3 410,22 €	1659,50	1 751 €	117 €	4 381 €	292 €
5. vuosi	39 736,89 €	3 410,22 €	1589,48	1 821 €	121 €	4 593 €	306 €
6. vuosi	37 916,14 €	3 410,22 €	1516,65	1 894 €	126 €	4 815 €	321 €
7. vuosi	36 022,57 €	3 410,22 €	1440,90	1 969 €	131 €	5 049 €	337 €
8. vuosi	34 053,25 €	3 410,22 €	1362,13	2 048 €	137 €	5 294 €	353 €
9. vuosi	32 005,16 €	3 410,22 €	1280,21	2 130 €	142 €	5 551 €	370 €
10. vuosi	29 875,15 €	3 410,22 €	1195,01	2 215 €	148 €	5 821 €	388 €
11. vuosi	27 659,94 €	3 410,22 €	1106,40	2 304 €	154 €	6 104 €	407 €
12. vuosi	25 356,12 €	3 410,22 €	1014,24	2 396 €	160 €	6 401 €	427 €
13. vuosi	22 960,14 €	3 410,22 €	918,41	2 492 €	166 €	6 714 €	448 €
14. vuosi	20 468,33 €	3 410,22 €	818,73	2 591 €	173 €	7 041 €	469 €
15. vuosi	17 876,84 €	3 410,22 €	715,07	2 695 €	180 €	7 385 €	492 €
16. vuosi	15 181,69 €	3 410,22 €	607,27	2 803 €	187 €	7 746 €	516 €
17. vuosi	12 378,74 €	3 410,22 €	495,15	2 915 €	194 €	8 125 €	542 €
18. vuosi	9 463,67 €	3 410,22 €	378,55	3 032 €	202 €	8 523 €	568 €
19. vuosi	6 432,00 €	3 410,22 €	257,28	3 153 €	210 €	8 941 €	596 €
20. vuosi	3 279,06 €	3 410,22 €	131,16	3 279 €	219 €	9 380 €	625 €
	Yht	68 204,40 €	21858,40	46 346,00 €			

TAULUKKO 27. PEL 15 -järjestelmän investoinnin korkojen ja annuiteettien laskelmat

PEL 15				Vuotuiset k Vuotuiset kustannukset per talous			
Vuosi	Luotto	Annuiteetti	korko	Lyhennys	Lyhennys/talous € / vuosi	€ / talous / vuosi	
1. vuosi	23 173,00	1 705,11 €	926,92	778 €	52 €	7 855 €	524 €
2. vuosi	22 394,81 €	1 705,11 €	895,79	809 €	54 €	8 269 €	551 €
3. vuosi	21 585,49 €	1 705,11 €	863,42	842 €	56 €	8 704 €	580 €
4. vuosi	20 743,80 €	1 705,11 €	829,75	875 €	58 €	9 162 €	611 €
5. vuosi	19 868,44 €	1 705,11 €	794,74	910 €	61 €	9 644 €	643 €
6. vuosi	18 958,07 €	1 705,11 €	758,32	947 €	63 €	10 152 €	677 €
7. vuosi	18 011,29 €	1 705,11 €	720,45	985 €	66 €	10 687 €	712 €
8. vuosi	17 026,63 €	1 705,11 €	681,07	1 024 €	68 €	11 251 €	750 €
9. vuosi	16 002,58 €	1 705,11 €	640,10	1 065 €	71 €	11 844 €	790 €
10. vuosi	14 937,58 €	1 705,11 €	597,50	1 108 €	74 €	12 469 €	831 €
11. vuosi	13 829,97 €	1 705,11 €	553,20	1 152 €	77 €	13 126 €	875 €
12. vuosi	12 678,06 €	1 705,11 €	507,12	1 198 €	80 €	13 819 €	921 €
13. vuosi	11 480,07 €	1 705,11 €	459,20	1 246 €	83 €	14 549 €	970 €
14. vuosi	10 234,16 €	1 705,11 €	409,37	1 296 €	86 €	15 317 €	1 021 €
15. vuosi	8 938,42 €	1 705,11 €	357,54	1 348 €	90 €	16 126 €	1 075 €
16. vuosi	7 590,85 €	1 705,11 €	303,63	1 401 €	93 €	16 978 €	1 132 €
17. vuosi	6 189,37 €	1 705,11 €	247,57	1 458 €	97 €	17 875 €	1 192 €
18. vuosi	4 731,84 €	1 705,11 €	189,27	1 516 €	101 €	18 820 €	1 255 €
19. vuosi	3 216,00 €	1 705,11 €	128,64	1 576 €	105 €	19 815 €	1 321 €
20. vuosi	1 639,53 €	1 705,11 €	65,58	1 640 €	109 €	20 863 €	1 391 €
	Yht	34 102,20 €	10929,20	23 173,00 €	1 544,87 €		

Liite 4. Bioenergiapörssin laskurin antamat taulukot kustannuksista.

TAULUKKO 28. Laskurin antamat tiedot yhdelle matalaenergiatalolle

Lämmitysmuoto	COP tai hyötysuhde	Polttoaineen hinta €/kWh	Lämmitysenergiakust annukset € / vuosi	Lämmitysjärjestelmän investointi €	20 vuoden kustannukset € / vuosi
Aurinko-öljy - hybridijärjestelmä	1.19	0.1093	502.04	12082.27	1106.15
Hakelämmitys	0.82	0.01828	121.85	20483.62	1146.03
Kaukolämpö	0.95	0.0632	363.63	6780.85	702.67
Maalämpöjärjestelmä, lattialämmitys, lämpökaivolla	3.3	0.1266	209.69	10290.49	724.22
Maalämpöjärjestelmä, lattialämmitys, vaakaputkistolla	3.2	0.1266	216.25	9256.91	679.09
Maalämpöjärjestelmä, patterilämmitys, vaakaputkistolla	2.7	0.1266	256.29	9256.91	719.14
Maalämpöjärjestelmä, patteriverkko, lämpökaivolla	2.8	0.1266	247.14	10290.49	761.66
Pellettilämmitys	0.82	0.0526	350.62	10241.81	862.71
Poistoilmalämpöpumppu	1.7	0.1266	407.05	8191.84	816.64
Suora sähkölämmitys	1	0.1266	691.99	1893.70	786.67
Vesi-ilmalämpöpumppu	2.1	0.1266	329.52	8191.84	739.11
Vesikiertoinen sähkölämmitys	0.95	0.1266	728.41	3234.26	890.12
Öljylämmitys	0.87	0.1093	686.70	8085.64	1090.98
Öljylämmitys, kaksoiskattila	0.8	0.1093	746.79	8624.68	1178.02

TAULUKKO 29. Laskurin antamat tiedot 5 matalaenergiatalolle

Lämmitysmuoto	COP tai hyötysuhde	Polttoaineen hinta €/kWh	Lämmitysenergia kustannukset € / vuosi	Lämmitysjärjestelmän investointi €	20 vuoden kustannukset € / vuosi
Aurinko-öljy - hybridijärjestelmä	1.19	0.1093	3002.51	22453.24	4125.17
Hakelämmitys	0.82	0.01828	728.74	27872.93	2122.39
Kaukolämpö	0.95	0.0632	2174.73	10669.96	2708.23
Maalämpöjärjestelmä, lattialämmitys, lämpökaivolla	3.3	0.1266	1254.10	21698.56	2339.03
Maalämpöjärjestelmä, lattialämmitys, vaakaputkistolla	3.2	0.1266	1293.29	18007.42	2193.66
Maalämpöjärjestelmä, patterilämmitys, vaakaputkistolla	2.7	0.1266	1532.79	18007.42	2433.16
Maalämpöjärjestelmä, patteriverkko, lämpökaivolla	2.8	0.1266	1478.04	21698.56	2562.97
Pellettilämmitys	0.82	0.0526	2096.93	13936.47	2793.75
Poistoilmalämpöpumppu	1.7	0.1266	2434.43	16618.26	3265.34
Suora sähkölämmitys	1	0.1266	4138.52	2360.40	4256.54
Vesi-ilmalämpöpumppu	2.1	0.1266	1970.73	16618.26	2801.64
Vesikiertoinen sähkölämmitys	0.95	0.1266	4356.34	4400.99	4576.39
Öljylämmitys	0.87	0.1093	4106.89	11002.47	4657.01
Öljylämmitys, kaksoiskattila	0.8	0.1093	4466.24	11735.97	5053.04

3 (3)

TAULUKKO 30. Laskurin antamat tiedot 15 matalaenergiatalolle

Lämmitysmuoto	COP tai hyötysuhde	Polttoaineen hinta €/kWh	Lämmitysenergiakust annukset € / vuosi	Lämmitysjärjestelmän investointi €	20 vuoden kustannukset € / vuosi
Aurinko-öljy - hybridijärjestelmä	1.19	0.1093	9253.69	48380.67	11672.73
Hakelämmitys	0.82	0.01828	2245.97	46346.23	4563.28
Kaukolämpö	0.95	0.0632	6702.48	20392.75	7722.11
Maalämpöjärjestelmä, lattialämmitys, lämpökaivolla	3.3	0.1266	3865.11	50218.74	6376.04
Maalämpöjärjestelmä, lattialämmitys, vaakaputkistolla	3.2	0.1266	3985.89	39883.69	5980.08
Maalämpöjärjestelmä, patterilämmitys, vaakaputkistolla	2.7	0.1266	4724.02	39883.69	6718.21
Maalämpöjärjestelmä, patteriverkko, lämpökaivolla	2.8	0.1266	4555.31	50218.74	7066.24
Pellettilämmitys	0.82	0.0526	6462.70	23173.11	7621.35
Poistoilmalämpöpumppu	1.7	0.1266	7502.86	37684.29	9387.07
Suora sähkölämmitys	1	0.1266	12754.86	3527.13	12931.21
Vesi-ilmalämpöpumppu	2.1	0.1266	6073.74	37684.29	7957.96
Vesikiertoinen sähkölämmitys	0.95	0.1266	13426.16	7317.83	13792.06
Öljylämmitys	0.87	0.1093	12657.35	18294.56	13572.08
Öljylämmitys, kaksoiskattila	0.8	0.1093	13764.87	19514.20	14740.58

Liite 5. Järjestelmien hiilidioksidipäästöt

TAULUKKO 31. Lämmitysjärjestelmien hiilidioksidipäästöt, mukana suora sähkölämmitys vertailun vuoksi

	MLP 1 0,13 kg CO2/kWh	MLP 5 0,66 kg CO2/KWh	MLP 15 1,99 kg CO2/kWh	HAKE 1 0,03 kg CO2/kWh	HAKE 5 0,15 kg CO2/kWh	HAKE 15 0,45 kg CO2/kWh	PEL 1 0,03kg CO2/kWh	PEL 5 0,15kg CO2/kWh	PEL 15 0,45kg CO2/kWh	SÄH 1 0,4 kg CO2/kWh	SÄH 5 2,0 kg CO2/kWh	SÄH 15 6,0 kg CO2/kWh
Vuosi												
1.	1 440	7 200	21 600	324	1 620	4 860	324	1 620	4 860	4 320	21 600	64 800
2.	2 880	14 400	43 200	648	3 240	9 720	648	3 240	9 720	8 640	43 200	130 600
3.	4 320	21 600	64 800	972	4 860	14 580	972	4 860	14 580	12 960	64 800	196 400
4.	5 760	28 800	86 400	1 296	6 480	19 440	1 296	6 480	19 440	17 280	86 400	262 200
5.	7 200	36 000	108 000	1 620	8 100	24 300	1 620	8 100	24 300	21 600	108 000	328 000
6.	8 640	43 200	129 600	1 944	9 720	29 160	1 944	9 720	29 160	25 920	129 600	393 800
7.	10 080	50 400	151 200	2 268	11 340	34 020	2 268	11 340	34 020	30 240	151 200	459 600
8.	11 520	57 600	172 800	2 592	12 960	38 880	2 592	12 960	38 880	34 560	172 800	525 400
9.	12 960	64 800	194 400	2 916	14 580	43 740	2 916	14 580	43 740	38 880	194 400	591 200
10.	14 400	72 000	216 000	3 240	16 200	48 600	3 240	16 200	48 600	43 200	216 000	657 000
11.	15 840	79 200	237 600	3 564	17 820	53 460	3 564	17 820	53 460	47 520	237 600	722 800
12.	17 280	86 400	259 200	3 888	19 440	58 320	3 888	19 440	58 320	51 840	259 200	788 600
13.	18 720	93 600	280 800	4 212	21 060	63 180	4 212	21 060	63 180	56 160	280 800	854 400
14.	20 160	100 800	302 400	4 536	22 680	68 040	4 536	22 680	68 040	60 480	302 400	920 200
15.	21 600	108 000	324 000	4 860	24 300	72 900	4 860	24 300	72 900	64 800	324 000	986 000
16.	23 040	115 200	345 600	5 184	25 920	77 760	5 184	25 920	77 760	69 120	345 600	1 051 800
17.	24 480	122 400	367 200	5 508	27 540	82 620	5 508	27 540	82 620	73 440	367 200	1 117 600
18.	25 920	129 600	388 800	5 832	29 160	87 480	5 832	29 160	87 480	77 760	388 800	1 183 400
19.	27 360	136 800	410 400	6 156	30 780	92 340	6 156	30 780	92 340	82 080	410 400	1 249 200
20.	28 800	144 000	432 000	6 480	32 400	97 200	6 480	32 400	97 200	86 400	432 000	1 315 000